

VU Research Portal

Pupil dynamics in response to light and effortful listening

Wang, Y.

2018

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Wang, Y. (2018). *Pupil dynamics in response to light and effortful listening: Unraveling the role of the parasympathetic nervous system.*

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Summary

There is mounting evidence showing that for listeners with hearing impairment, listening is more effortful in daily communication settings than for normally-hearing listeners. More effortful listening may be associated with higher levels of experienced fatigue and need for recovery in listeners with hearing impairment as compared to their normally hearing peers. The consequences of hearing-related fatigue may include restrictions in engagement in work and withdrawal from major social roles.

The autonomic nervous system governs the stress response of the human body. There are two main branches of the autonomic nervous system: the sympathetic nervous system known to govern the 'fight or flight' response; and the parasympathetic nervous system, which is in charge of the 'rest and digest' response. The parasympathetic nervous system is somewhat analogous to the brake of a car, in the sense that it helps the body to restore energy and recover from stress. Given the important role of the parasympathetic nervous system in the recovery phase after stress, investigation of parasympathetic activity may help to gain a more comprehensive understanding of the mechanisms and consequences of listening effort and their relations with hearing-related fatigue.

Evidence suggests that autonomic nervous system activity can be assessed by measuring the task-evoked pupil response. The task-evoked pupil dilation during a speech comprehension in noise task has been considered as a measure of sympathetic nervous system activity indexing listening effort. Larger pupil dilation is associated with higher levels of effort or cognitive resource allocation during the task. Previous studies have repeatedly reported that the pupil dilation in hearing-impaired participants is smaller than that of normally-hearing controls, particularly in challenging listening conditions. This is contrary to the intuitive assumption that listeners with hearing impairment would experience more effort than normally-hearing listeners when intelligibility levels are similar for both groups and thus have a larger pupil dilation response. A potential explanation for the findings described above may involve interactions between hearing status and the parasympathetic nervous system, as evidence has suggested that the parasympathetic nervous system also plays an important role in the task-evoked pupil response in most conditions. Namely, depending on the illumination level during the test, the parasympathetic nervous system has a different contribution to the pupil dilation response. Therefore, by changing the illumination level during testing, you can assess this specific contribution allowing the examination of the parasympathetic activation by means of measuring the pupil dilation response.

In contrast to the pupil dilation response to cognitive resource allocation, the

pupil light reflex (PLR) is an index of parasympathetic nervous system activity (e.g. not associated with sympathetic nervous system activity). The PLR is the rapid constriction of the pupil diameter in response to an increase in light intensity, and has been widely used as a clinical diagnostic tool to assess parasympathetic activity and dysfunction. Taken together, measuring pupil dilation and constriction responses may provide insight into the relationships between parasympathetic nervous system activation, fatigue and hearing impairment.

The studies described in this thesis had two main aims. The first aim was to provide the theoretical framework and methodology to support future implications using the pupil light reflex as a testing tool to investigate the association between hearing impairment and parasympathetic nervous system activity. The second goal was to unravel the possible roles of the sympathetic and parasympathetic nervous systems in the pupil dilation response during speech comprehension in noise tasks.

Following a general introduction (Chapter 1), Chapter 2 presents a systematic review of the literature that sought the existing evidence related to possible connections between parasympathetic nervous system functioning and hearing impairment. Only two studies were found, indicating a huge gap in knowledge on this relationship. It was concluded that further research is needed in order to gain a better understanding of the relationship between parasympathetic functioning and hearing impairment. At the same time, the PLR was reviewed as an effective method to evaluate parasympathetic functioning and was found to be a candidate tool to investigate this association.

In Chapter 3, as a follow-up experiment of the systematic literature review, two systems using either a computer screen or a light-emitting diode to generate and record the PLR were validated and compared. It was also found that higher need for recovery was associated with faster and larger pupil constriction during the PLR, suggesting increased levels of parasympathetic nervous system activity in people experiencing higher daily levels of need for recovery.

Chapter 4 presents an experimental study aiming to clarify why previous studies repeatedly have found that people with hearing impairment showed smaller pupil dilation during a speech-in-noise task, compared to their normally-hearing peers. Pupil dilation response was recorded during a speech understanding in noise task targeting an intelligibility level of 50% correct. The results indicated that daily-life fatigue and hearing acuity had independent and equal contributions to the pupil dilation response, and that people with higher levels of daily-life fatigue and worse hearing acuity showed smaller pupil dilation during this task. Given these results, the data still did not reveal why adults with hearing impairment had smaller responses than normally hearing listeners in the same conditions. Therefore, we further investigate this question in a follow-up study.

In Chapter 5, based on the findings of the previous studies, pupil dilation data recorded in both dark and light conditions were analyzed. Any difference in the pupil dilation between these two conditions could be viewed as an index of inhibition

of the parasympathetic activity. Participants with normal hearing and lower levels of need for recovery showed a larger difference in the pupil dilation between the dark and light conditions than participants with hearing impairment and/or higher levels of need for recovery. It was speculated that increased parasympathetic nervous system activity accompanying hearing problems or high need for recovery may be a sign of a coping mechanism involving the parasympathetic nervous system that may influence cognitive resource allocation. This coping may be associated with some sort of a 'protective' mechanism or reduced cognitive resource allocation. A by-product of this proposed mechanism is that the pupil dilation response in light conditions is relatively restricted.

Finally, a discussion of the main findings of this dissertation, methodological considerations, implications for clinical practice, and recommendations for future research are presented in Chapter 6. This thesis provides new insight into the psychophysiological impact of hearing impairment, and a possible tool for the future evaluation of this impact.

Samenvatting

Onderzoek toont aan dat mensen met gehoorproblemen meer inspanning ervaren tijdens het luisteren in dagelijkse situaties dan mensen met normaal gehoor. Meer luisterinspanning is gerelateerd aan grotere vermoeidheid en een hogere herstelbehoefte. Gehoor-gerelateerde vermoeidheid kan resulteren in verminderde arbeidsparticipatie en terugtrekking uit de sociale omgeving.

Het is dus van belang om de relatie tussen gehoor en vermoeidheid te bestuderen, omdat dit bij kan dragen aan de diagnostiek van deze problemen en aanknopingspunten kan bieden voor de revalidatie. Het onderzoek in dit proefschrift richtte zich daarom op het ontwikkelen en toepassen van meetmethodes die gevoelig zijn voor het functioneren van het autonome zenuwstelsel van het menselijk lichaam. Het autonome zenuwstelsel regelt de stressreactie van het lichaam en bestaat uit twee onderdelen: het sympathische zenuwstelsel waarvan bekend is dat het de 'vecht of vlucht' reactie aanstuurt en het parasympathische zenuwstelsel dat gerelateerd is aan 'rust en herstel'. Het parasympathische zenuwstelsel kan gezien worden als een rem van een auto - het helpt het lichaam een stapje terug te doen zodat energie kan worden aangevuld en er herstel van stress op kan treden. Gezien de belangrijke rol van het parasympathische zenuwstelsel in de herstelfase na stress, kan onderzoek naar parasympathische activiteit inzicht geven in de mechanismen die ten grondslag liggen aan luisterinspanning en gehoor-gerelateerde vermoeidheid.

Er zijn aanwijzingen dat de activiteit van het autonome zenuwstelsel kan worden onderzocht door de taak-gerelateerde pupil-verwijding te meten. De pupilverwijding tijdens spraakverstaan in ruis wordt beschouwd als een maat voor de luisterinspanning. Grotere pupilverwijding wordt geassocieerd met hogere niveaus van inspanning doordat er een groter beroep wordt gedaan op cognitieve vaardigheden. Eerdere studies hebben herhaaldelijk gevonden dat de pupilverwijding van slechthorende deelnemers kleiner is dan die van normaal horende deelnemers, vooral in uitdagende luisteromstandigheden. Intuïtief zou je echter verwachten dat luisteraars met gehoorverlies méér inspanning ervaren dan normaalhorende luisteraars, zeker als de verstaanbaarheidsniveaus voor beide groepen vergelijkbaar zijn. Dit onverwachte resultaat is mogelijk deels het gevolg van de interactie tussen gehoor en het parasympathische zenuwstelsel. Onderzoek toont aan dat zowel het sympathisch als het parasympathisch zenuwstelsel een rol spelen bij de taak-gerelateerde pupilrespons. Daarnaast is de bijdrage die het parasympathisch systeem heeft aan de pupilverwijding afhankelijk van de lichtsterkte in de ruimte waarin de taak wordt uitgevoerd. Door de lichtsterkte tijdens de taak te variëren, kan worden onderzocht wat de bijdrage van parasympathisch zenuwstelsel is aan de pupilverwijding, en hoe dit samenhangt met individuele verschillen in bijvoorbeeld gehoor.

In tegenstelling tot het effect van cognitieve inspanning op de pupil verwijding, is de pupillichtreflex (PLR) alleen geassocieerd met de parasympathische activiteit van het zenuwstelsel en dus niet met sympathische activiteit. De PLR is de snelle contractie van de pupil in reactie op een toename van de lichtintensiteit. De PLR wordt op grote schaal gebruikt als een klinisch diagnostische tool om parasympathisch functioneren te beoordelen. Kortom, het meten van pupilverwijding en pupilcontractie kan inzicht geven in de relatie tussen de activiteit van het parasympathische zenuwstelsel, vermoeidheid en gehoorverlies.

De studies beschreven in dit proefschrift hadden twee doelen. Het eerste doel was om een theoretisch kader te scheppen en methoden te ontwikkelen die het toekomstig gebruik van het meten van de PLR ondersteunen in onderzoek naar de associatie tussen gehoor en parasympathische activatie. Het tweede doel was om te onderzoeken wat de specifieke bijdrage is van het sympathisch en parasympathisch zenuwstelsel aan de pupilverwijding tijdens het verstaan van spraak in ruis.

Na een algemene inleiding (hoofdstuk 1) presenteert hoofdstuk 2 een systematisch literatuuroverzicht waarin werd gezocht naar bestaand bewijs voor mogelijke verbanden tussen het functioneren van het parasympathisch zenuwstelsel en slechthorendheid. Slechts twee studies werden gevonden, wat wijst op een hiaat in de kennis over deze mogelijke relatie. Er werd geconcludeerd dat verder onderzoek nodig is om een beter begrip te krijgen van de relatie tussen parasympathisch functioneren en slechthorendheid. Tegelijkertijd bleek uit de bestaande literatuur dat de PLR een effectieve methode is om het parasympathische functioneren te evalueren om deze associatie verder te onderzoeken.

In Hoofdstuk 3 werden twee systemen voor het genereren en vastleggen van de PLR vergeleken: één met een computerscherm en de ander met een LED (light-emitting diode). In deze studie werd ook gevonden dat een hogere herstelbehoefte geassocieerd is met snellere en grotere pupilvernaauwing tijdens de PLR. Dit wijst op verhoogde parasympathische activiteit bij mensen die een hogere dagelijkse herstelbehoefte ervaren.

Hoofdstuk 4 presenteert een experimenteel onderzoek om te verduidelijken waarom in eerdere onderzoeken herhaaldelijk werd vastgesteld dat mensen met gehoorproblemen een kleinere pupilverwijding hebben tijdens het luisteren in moeilijke condities dan hun normaalhorende leeftijdsgenoten. De pupilverwijdingsrespons werd gemeten tijdens een spraakverstaan-in-ruis taak met een verstaanbaarheidsniveau van 50% correct. De resultaten gaven aan dat zowel de ervaren vermoeidheid in het dagelijks leven als het gehoorverlies een bijdrage aan de pupilverwijding leverden. Daarnaast bleek de bijdrage van deze twee factoren onafhankelijk en gelijkwaardig. Hogere vermoeidheid en een slechter gehoor waren gerelateerd aan een kleinere pupilverwijding tijdens deze taak. Deze resultaten geven echter niet aan waarom volwassenen met een gehoorverlies een kleinere pupilrespons hebben dan normaal horende luisteraars in dezelfde, moeilijke, luisteromstandigheden. Daarom onderzoeken we deze vraag verder in een vervolgstudie.

In hoofdstuk 5 werd de pupilverwijding als gevolg van luisterinspanning gemeten bij hogere of lagere lichtsterkte in de testruimte. Cruciaal is dat het verschil in pupilverwijding als gevolg van mentale inspanning tussen deze twee condities kan worden gezien als een index van parasymphatische activiteit. Hoe groter het verschil, hoe kleiner de parasymphatische activiteit is. Het verschil tussen de twee condities was het grootst bij deelnemers die zowel een normaal gehoor als een lage herstelbehoefte rapporteren. Het hebben van gehoorverlies en/of een hogere herstelbehoefte was juist gerelateerd aan een kleiner verschil tussen deze condities. Dit wijst mogelijk op een toegenomen parasymphatische activiteit in mensen met gehoorverlies of een grotere herstelbehoefte. We speculeren dat dit mogelijk duidt op een coping mechanisme waarbij het parasymphatische zenuwstelsel betrokken is en dat invloed kan hebben op de mentale inspanning. Wellicht heeft dit mechanisme een 'beschermende' functie door ervoor te zorgen dat er minder inspanning geleverd kan worden door het individu. Als gevolg hiervan is dat de pupilverwijding door inspanning relatief klein (in lichte condities).

Ten slotte presenteert hoofdstuk 6 de belangrijkste bevindingen van dit proefschrift, enkele methodologische overwegingen, de implicaties voor de klinische praktijk en aanbevelingen voor toekomstig onderzoek. Dit proefschrift draagt bij aan zowel de praktische ontwikkeling van meetmethodes om het functioneren van het autonoom zenuwstelsel te meten als het meer theoretische inzicht in de relatie tussen slechthorendheid en deze fysiologische maten. Voor het begrip van de relatie tussen gehoor en het functioneren van het autonoom zenuwstelsel biedt het oog een schat aan waardevolle informatie!

Acknowledgements

PhD is a journey full of many obstacles. This journey would not have been possible without the support of my supervisors, colleagues, friends and families.

Thank you to my supervisors

Prof. Sophia Kramer – for encouraging my research and for allowing me to grow as a scientific researcher. For your trust in my skill and judgement as a researcher. For all your constructive comments and advices on my papers, presentations and thesis.

Prof. Thomas Lunner – for your guidance and help throughout my PhD journey. For our discussions, which I have learnt so much. For helping me with my dental treatment. You have proven your ‘green’ personality to me that you always offer care and support to me and other colleagues at Eriksholm.

Dr. Adriana Zekveld – for being a truly dedicated supervisor and generally providing constant support and assistance. For helping me with all the administrative tasks from the EU and medical center. I highly appreciate your input on my third and fourth papers, which hugely improved the quality of these papers.

Dr. Graham Naylor – for your wisdom words and insightful comments on my research. For many language corrections on my scientific writings.

Dr. Dorothea Wendt – for making time for our regular meetings, and for being there when I really needed help. For showing your care not only about my research, but also about my personal life.

Thank you to my colleagues at VUmc

Barbara Ohlenforst – for working as a team. We have been through so many things together, and I appreciate your support and honesty during these four years.

Dr. Thomas Koelewijn – paranimf, for your sense of humor and being an awesome office mate. For all the movies we have watched together, and all the ‘menly’ talk we made during lunch. For cheering me up during crucial moments. We should make a Radiohead cover in the future.

Dr. Mariska Stam – for your welcome when I first arrived in Netherlands, this helped me a lot to blend into the new environment. For your caring and sharing the same office.

Hans, for your technical support when running my first experiment in Amsterdam. The colleagues at the audiology department – for your effort talking English with me, I should have learnt my Dutch better.

Thanks to my colleagues at Eriksholm

Those who have participated in the LisPLR experiment – for your time and patience to suffer from two hours of continuous flashes and cognitive tasks.

Renskje – for your enthusiasm on the LisPLR project. Without your help, it would not be possible for me to finish this project. For recruiting test subjects and teaching me how to count in Danish, I still keep the little card you made with Danish numbers so that I can surprise you by counting from 1 to 999 next time we meet.

Jette – for your kindness and support. You have always shown your willingness to help others, and I particularly appreciate your help during my transaction to and from Denmark.

Dr. Eline Petersen – for being the friendly neighbor living in Helsingør. For lending me the bike and for your inspiration on my research.

致谢

小咪, 这本书是献给你的, 感谢你在最需要的时候走进了我的人生。如果没有你我可能仍在浑噩度日, 是你的出现让我的生活多了牵挂和期盼。两年的异国终于走到了尽头, 现在我们可以骄傲地向世人宣告异国恋其实并没有什么。

我的家人 – 作为家庭中的小辈, 这几年我没能 在你们需要我的时候回到你们身边。感谢你们对我在国外这几年无私的帮助和支持, 这些都是支持我读下去最重要的动力。

宋昊, 解晨浩 – 没想到有一天咱们三个人都能成为博士。虽然已经各自成家立业, 但还是希望有一天能回到一起在PS上扯淡玩游戏的日子。

喜博, 男神, 帅亮 – hk sf bfbx hsky

以及其他所有在荷兰和丹麦帮助过我的朋友, 感谢你们对我的包容和支持。

About the Author

Yang Wang (1989) was born and raised in Beijing, China. After graduating from Beijing 101 Middle School, Yang started his undergraduate study in Telecommunication Engineering and Management, which was held jointly by Beijing University of Post and Telecommunication and Queen Mary University of London. From Beijing, he moved to London in 2012. There he obtained his research master degree with distinction in Speech, Language and Cognition at the University College London. He wrote his master thesis about the effect of attention on the frequency-following response (FFR) under the supervision of Prof. Stuart Rosen.

After graduation, Yang started his PhD project – "Listening Effort in the European Population: A New Innovative Program of Research and Training" (LISTEN), which was an EU Marie Skłodowska-Curie Innovative Training Networks (ITN) project based on the collaboration between VU University Medical Center (Amsterdam, Netherlands) and Eriksholm Research Centre (Snekkersten, Denmark). Yang's research focuses on measuring pupil responses, both dilation and light reflex, and how they are related to hearing impairment, parasympathetic nervous system, and fatigue.

List of Publications

Wang, Y., Zekveld, A.A., Naylor, G., Ohlenforst, B., Jansma, E.P., Lorens, A., Lunner, T. and Kramer, S.E., 2016. Parasympathetic nervous system dysfunction, as identified by pupil light reflex, and Its possible connection to hearing impairment. *PLOS ONE*, 11(4), p.e0153566.

Wang, Y., Naylor, G., Kramer, S.E., Zekveld, A.A., Wendt, D., Ohlenforst, B. and Lunner, T., 2017. Relations Between Self-Reported Daily-Life Fatigue, Hearing Status, and Pupil Dilation During a Speech Perception in Noise Task. *Ear and hearing [Epub ahead of print]*.

Wang, Y., Zekveld, A. A., Wendt, D., Lunner, T., Naylor, G., Kramer, S. E. Pupil Light Reflex Evoked by Light-Emitting Diode and Computer Screen: Methodology and Association with Need for Recovery in Daily Life. *Under review with PLOS ONE*.

Wang, Y., Kramer, S. E., Wendt, D., Naylor, G., Lunner, T., Zekveld, A. A. The Pupil Dilation Response During Speech Perception in Dark and Light: The Involvement of the parasympathetic Nervous System in Listening Effort. *Under review with Trends in Hearing*.

Ohlenforst, B., Zekveld, A.A., Jansma, E.P., **Wang, Y.**, Naylor, G., Lorens, A., Lunner, T. and Kramer, S.E., 2017. Effects of hearing impairment and hearing aid amplification on listening effort: A systematic review. *Ear and hearing*, 38(3), p.267.

Ohlenforst, B., Zekveld, A.A., Lunner, T., Wendt, D., Naylor, G., **Wang, Y.**, Versfeld, N.J. and Kramer, S.E., 2017. Impact of stimulus-related factors and hearing impairment on listening effort as indicated by pupil dilation. *Hearing research*, 351, pp.68-79.