

Endogénna pozornosť a priestorový sluch

Autor: Norbert Kopčo, Marek Podolinský

Pracovisko: Laboratórium vnímania a kognície, Katedra kybernetiky a UI, FEI, TU Košice

Abstrakt: Schopnosť človeka sústrediť sa na jeden sluchový podnet a potlačiť z vedomého spracovania ostatné, rušivé podnety je nevyhnutná pre účinnú rečovú komunikáciu v zložitých prostrediach. Porozumenie mozgovým procesom, ktoré túto schopnosť sprostredkujú, je však v súčasnosti len čiastočné. Táto práca prezentuje behaviorálne experimenty, ktorých cieľom bolo určiť ako pozornosť pomáha pri detekcii šumom maskovaných tonálnych podnetov v závislosti na ich priestorovej konfigurácii. Výsledky ukazujú, že priestorová pozornosť pomáha aj pri týchto veľmi jednoduchých úlohách, aj keď len za určitých špecifických podmienok. Preto je možné očakávať výraznejší vplyv pozornosti v zložitejších situáciách, napr. keď je cieľom porozumieť jednému z viacerých súbežne hovoriacich ľudí.

Kľúčové slová: vnímanie priestoru, sluchové vnímanie, selektívna a rozdelená pozornosť, endogénna pozornosť

Title: Endogenous attention and spatial hearing

Abstract: The human ability to concentrate on one auditory stimulus and to suppress the remaining, distracting stimuli from conscious processing is necessary for effective speech communication in complex environments. Current understanding of the brain processes that underlie this ability is limited. Here, behavioral experiments are presented that measured the influence of attention on the ability to detect the presence of a tone masked by noise in various spatial configurations of the stimuli. The results show that spatial attention helps even in these simple tasks, but only under some specific conditions. A stronger influence can be expected in more complex situations, e.g., when the goal is to understand one of several concurrently speaking talkers.

Keywords: perception of space, auditory perception, selective and divided attention, endogenous attention

1. Úvod

Všetky kognitívne schopnosti, od vnímania cez myslenie až po rečovú komunikáciu a motorické riadenie, sú ohraničené procesnou kapacitou mozgu (Parasuraman, 1998; Spence a Driver, 2004). Kvôli svojej limitovanej výpočtovej kapacite mozog napríklad nedokáže rovnako efektívne spracovať všetky zmyslové podnety prichádzajúce z prostredia. Pre zvládanie zložitých situácií preto musí existovať mechanizmus, ktorý umožňuje spracovať vybranú podmnožinu v určitom zmysle dôležitých podnetov. Tento mechanizmus sa nazýva pozornosť.

Aj keď problém obmedzenej kapacity zdieľaných zdrojov mozgu zasahuje mnohé kognitívne procesy, existuje veľa aktivít a úloh, ktoré je človek schopný vykonávať súbežne bez toho, aby sa znížila presnosť a rýchlosť s akou ich vykonáva. Preto nie je možné pre nejakú skupinu úloh dopredu určiť, či nutnosť venovať pozornosť týmto úlohám súčasne zníži výkon v porovnaní so situáciou, keď človek vykonáva tieto úlohy jednotlivo. Táto nejednoznačnosť platí špeciálne pre zmysly, keďže neurálne zmyslové dráhy sú silne paralelné (Kandel, Schwartz, Jessell, 2000).

Výskum selektívnej pozornosti v senzorickým modalitách začal klasickými experimentmi študujúcimi selektívne počúvanie (Cherry, 1953; Broadbent, 1958; Scharf, 1998), ale neskôr sa sústredil viac na vizuálne vnímanie (napr. LaBerge, 1995). Učebnicovým príkladom fungovania selektívnej pozornosti pri vnímaní reči je Efekt koktailového večierku (Cherry, 1953; Broadbent, 1958; Yost, 1997), ktorý charakterizuje ľudskú schopnosť venovať pozornosť jednému z viacerých súbežne hovoriacich ľudí.

Schopnosť selektívne počúvať jedného z hovoriacich ovplyvňujú mnohé faktory. Niektoré sú riadené stimulom, napr. pri počutí svojho mena sa človek automaticky preorientuje na hovoriaceho, ktorý meno vyslovil, iné sú riadené vôľou, napr. ak sa pri počúvaní klasického koncertu snažíme sústrediť na melódiu hranú harfou.

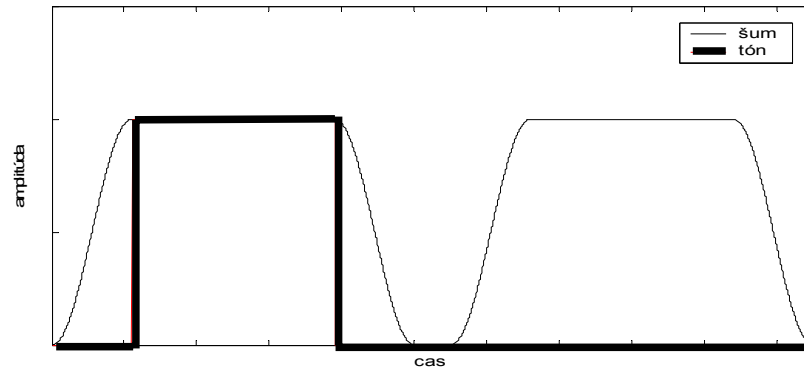
Jednou z dôležitých charakteristík, ktoré ovplyvňujú schopnosť selektívne sa zamerať na jeden sluchový objekt je priestorové usporiadanie sluchovej scény. Interakcia medzi priestorovým vnímaním a selektívnou pozornosťou pri počúvaní reči bola ukázaná v niekoľkých nedávnych štúdiách (Best et al., 2006, Shinn-Cunningham et al., 2005, Kidd et al., 2006). Na pochopenie mechanizmov, ktoré túto interakciu spôsobujú, je ale nutné

poznať, či selektívna a rozdelená pozornosť ovplyvňuje výkon aj pri základnejších úlohách, ako je napr. detekcia prítomnosti tónu maskovaného šumom.

Cieľom tejto práce je experimentálne určiť, či v prípade, keď človek môže svoju pozornosť zamerať na jedno miesto v prostredí, je jeho schopnosť detekovať tóny prichádzajúce z tohto miesta lepšia než v prípade, kedy musí monitorovať viacero miest na raz. Keďže priestorová analýza sluchovej scény sa deje relatívne centrálné v sluchovej dráhe (sluchový kmeň, primárna sluchová kôra a posteriórna parietálna kôra), prvou hypotézou je, že v prípade, keď človek môže použiť selektívnu pozornosť, sa presnosť jeho odpovedí zlepši. Na druhej strane, frekvenčná analýza sluchových podnetov sa vykonáva už na úrovni slimáka, informácie z ktorého sa šíria paralelnými tonotopickými dráhami až do vyšších mozgových oblastí. Preto druhou hypotézou je, že selektívna pozornosť nezlepši výkon v porovnaní so situáciou, keď človek musí monitorovať niekoľko rôznych frekvencií naraz. Schopnosť sluchovej kôry extrahovať priestorovú informáciu z počutých podnetov je lepšia pre nízkofrekvenčné tóny než pre vysokofrekvenčné tóny. Treťou hypotézou je, že priestorové zameranie pozornosti pomáha pri vnímaní nízkofrekvenčných, ale nie vysokofrekvenčných tónov.

2. Experimentálne metódy

S cieľom určiť vplyv selektívnej a rozdelennej pozornosti na detekciu čistého tónu maskovaného bielym šumom bol vykonaný experiment, ktorý meral psychometrické krivky detekcie u ôsmich poslucháčov so zdravým sluchom. Stimuly boli prezentované cez slúchadlá. Maskovací šum bol vždy diotický, t.j., vnímaný priamo pred poslucháčom (v skutočnosti mohol byť tón v dôsledku nejednoznačnosti reprezentácie vnímaný poslucháčom kdekoľvek v mediálnej laterálnej rovine, pre zjednodušenie ale uvažujeme len o pozícii pred poslucháčom). Tón, t.j. zvuk, ktorý mal poslucháč detekovať, bol prezentovaný buď dioticky (pred poslucháčom) alebo antifázicky (tón prezentovaný do jedného slúchadla bol negovaný voči tónu prezentovanému do druhého slúchadla), čo zodpovedá vnímanej polohe tónu buď naľavo alebo napravo. Výsledkom boli dve priestorové konfigurácie: NoSo (tón, S, aj šum, N, priamo pred poslucháčom) a NoS π (šum pred poslucháčom, tón na strane). Meranie sa uskutočňovalo pre tóny s dvoma frekvenciami, 400 alebo 4000 Hz, zvolenými tak, aby bolo pre poslucháča vždy ľahké určiť či počuje nízko- alebo vysokofrekvenčný tón (rozdiel bol viac než 3 oktávy) a aby sa overila platnosť tretej hypotézy o obmedzení príspevku pozornosti pre príliš vysoké tóny,

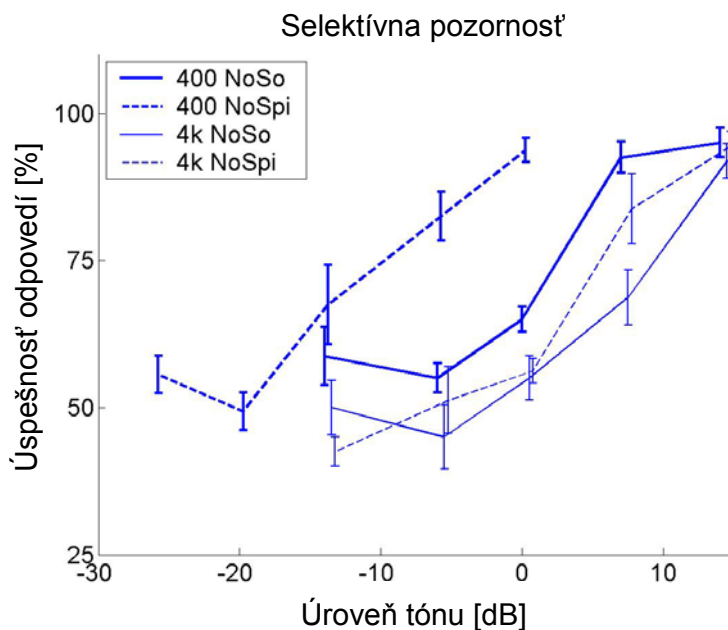


Obrázok 1. Casový priebeh obálky tónu a šumu pre stimul s tónom v prvom intervale

keďže schopnosť sluchovej periférie kódovať detaily stimulov sa stráca pre frekvencie vyššie ako 2 kHz. Na stanovenie psychometrických kriviek bola použitá metóda konštantných úrovní. T.j., pre každú kombináciu priestoru a frekvencie bolo pilotnou štúdiou stanovených 5 hlasitostných úrovní od úrovne pri ktorej nebolo možné tón počuť vôbec po úroveň pri ktorej bol tón ľahko detekovateľný. Jednotlivé merania používali metódu 2-intervals, 2-alternative-forced-choice (2I-2AFC), čo znamená, že stimul pozostával z dvoch intervalov, ktoré oba obsahovali šum, ale z ktorých iba jeden, náhodne vybraný, obsahoval tón (vid' Obr. 1). Úlohou subjektu bolo určiť, ktorý interval tón obsahoval, pričom odpoveď „1“ alebo „2“ musel uviesť aj v prípade, keď tón nepočul vôbec.

Pre každý typ merania a každú úroveň tónu bolo vykonaných 20 meraní, ktorých výsledkom bol odhad pravdepodobnosti detekcie tónu na danej úrovni v danom type merania. Skombinovaním týchto pravdepodobností sa vytvorila psychometrická krivka, ktorá má tvar sigmoidy rastúcej zľava doprava.

Experiment bol organizovaný v 128 blokoch po 25 meraní. Merania v rámci jedného a toho istého bloku boli zamerané na jeden typ pozornosti, a to buď na selektívnu (subjekt poznal polohu aj frekvenciu tónu), rozdelenú na priestor (subjekt poznal frekvenciu tónu, ale poloha sa náhodne menila), rozdelenú na frekvenciu (subjekt poznal polohu tónu ale jeho frekvencia sa náhodne menila) a rozdelenú na frekvenciu aj priestor (subjekt musel očakávať tóny oboch frekvencií a z oboch miest).



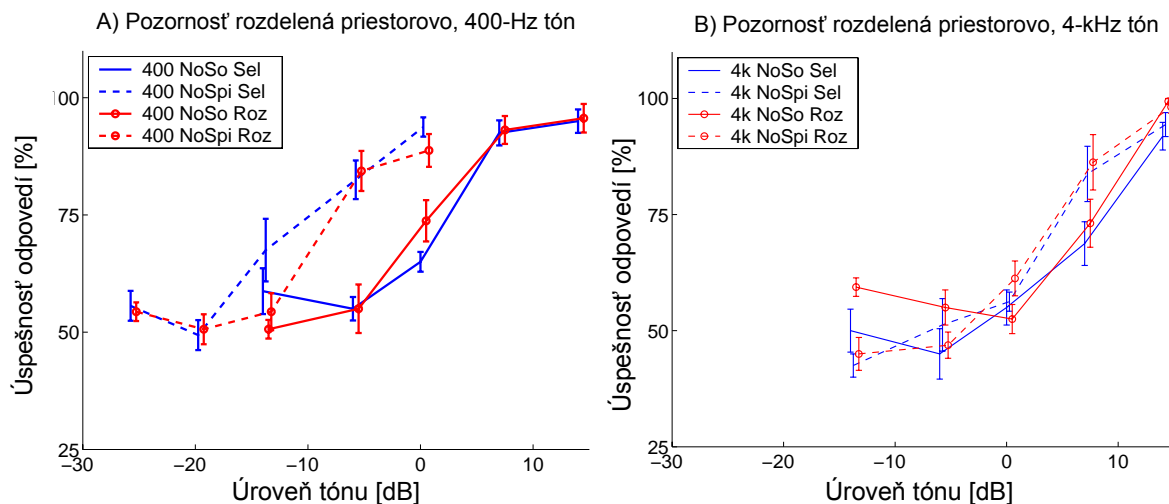
Obrázok 2. Príklad typických výsledkov pre jeden typ pozornostného merania (v tomto prípade selektívna pozornosť) pre dve frekvencie (400 Hz a 4 kHz) a dve priestorové usporiadania (NoSo a NoSpi)

3. Výsledky

Príklad výsledkov experimentu pre jeden pozornostný typ merania (selektívnu pozornosť) je uvedený na Obr. 2. Pre každú hlasitostnú úroveň tónu graf zobrazuje priemer presností odpovedí (a jeho štandardnú chybu) vypočítaný cez subjekty. V súlade so známymi výsledkami predošlých sluchových experimentov Obr. 2 ukazuje, že sluch je citlivejší pri vnímaní 400-Hz tónov než pri 4-kHz tónoch (hrubé čiary sú vždy naľavo od tenkých čiar), že priestorové oddelenie tónu od šumu zlepšuje schopnosť človeka vnímať tón (prerušované čiary sú naľavo od zodpovedajúcich plných čiar), a že tento rozdiel je oveľa väčší pre nízkofrekvenčné tóny (hrubá prerušovaná oproti hrubej plnej čiare) než pre vysokofrekvenčné tóny (tenká prerušovaná a plná čiara).

3.1 Pozornosť rozdelená v priestore

Obrázok 3 porovnáva psychometrické krivky z merania so selektívne zameranou pozornosťou (subjekt dopredu pozná frekvenciu aj polohu tónu) s pozornosťou rozdelenou v priestore (subjekt musí očakávať tón spredu alebo zo strany). Podobne ako v Obr. 2, aj tu grafy zobrazujú priemer presností odpovedí (a jeho štandardnú chybu) vypočítaný cez subjekty. Efekt rozdelenia pozornosti sa z týchto obrázkov dá vyčítať porovnaním modrej čiary bez krúžkov (selektívna) a červenej čiary toho istého typu s krúžkami (rozdelená).



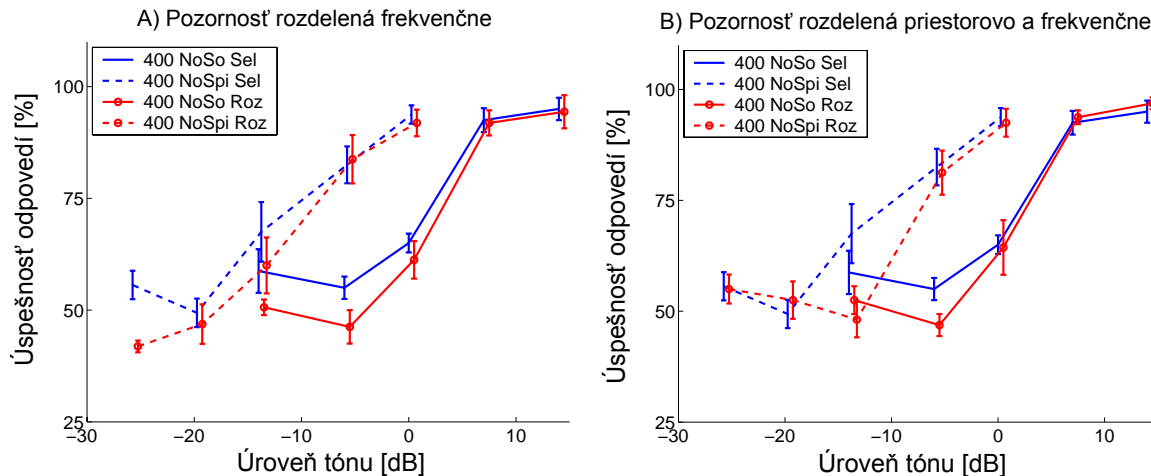
Obrázok 3. Porovnanie presnosti detekcie pri selektívnom zameraní pozornosti (modrá) a priestorovo rozdelenom zameraní pozornosti (červená) pre 400-Hz tóny (A) a 4-kHz tóny (B) v priestorovej konfigurácii NoSo a No π

Pre 400-Hz stimuly (Obr. 3A) poskytuje selektívna pozornosť výrazné, približne 20-percentné zlepšenie pre stredné úrovne tónu v móde No π (prerušovaná čiara). Pre 75-percentný prah úspešnosti toto zlepšenie predstavuje rozdiel 5 dB, čo je výrazný posun, ak sa uváži, že rozdiel medzi meraniami NoSo a No π je približne 10 až 15 dB. Ďalším zaujímavým aspektom tohto rozdielu je, že pre dve najnižšie aj dve najvyššie úrovne tónu sú krivky selektívnej a rozdelenej pozornosti identické. To znamená, že rozdiel medzi selektívnou a rozdelenou pozornosťou je spôsobený hlavne zmenou strmosti psychometrickej krivky.

V kontraste s módom No π v móde NoSo žiaden efekt rozdelenia pozornosti pozorovaný nie je (plné čiary na Obr. 3A). A Obr. 3B ukazuje, že ani detekcia 4-kHz tónu nie je priestorovým rozdelením pozornosti ovplyvnená, a to v žiadnej z priestorových konfigurácii (aj keď na nízkych úrovniach sa javí vnímanie pri rozdelenej pozornosti ako lepšie než pri použití selektívnej pozornosti).

3.2 Pozornosť rozdelená frekvenčne

Keďže pri 4-kHz tóne sa ani v ostatných typoch merania neprejavil žiaden efekt rozdelenia pozornosti, zvyšok článku popisuje len výsledky pre 400-Hz tón. Obrázok 4A prezentuje výsledky merania (priemer a štandardné chyby) s pozornosťou rozdelenou frekvenčne, t.j., keď subjekt pri každej novej prezentácii musel očakávať tón rôznej frekvencie, zatiaľ čo priestorová konfigurácia sa v rámci bloku nemenila (formát obrázku je podobný Obrázku



Obrázok 4. Porovnanie presnosti detekcie pri selektívnom zameraní pozornosti (modrá) a rozdelenom zameraní pozornosti (červená) pre 400-Hz tóny v priestorovej konfigurácii NoSo a No π . Pozornosť rozdelená frekvenčne (A) a priestorovo aj frekvenčne (B)

3A). V súlade s očakávaním, rozšírenie pozornosti na široké frekvenčné spektrum má len veľmi malý dopad na detekovateľnosť tónov (zodpovedajúce červené a modré čiary sa v podstate prekrývajú), potvrdzujúc hypotézu, že informácie z rôznych frekvencií sa prenášajú do vyšších mozgových centier v paralelných dráhach, ktorých súčasné monitorovanie nezvyšuje kognitívnu záťaž.

3.3 Pozornosť rozdelená súčasne v priestore aj frekvenčne

Obrázok 4B prezentuje výsledky merania detekcie 400-Hz tónu s pozornosťou rozdelenou frekvenčne aj priestorovo, t.j., keď subjekt pri každej novej prezentácii musel očakávať tón rôznej frekvencie a z náhodne zvolenej polohy (formát obrázku je podobný Obrázku 4A).

Výsledky sú podobné meraniu s pozornosťou rozdelenou len v priestore (Obr. 3A), t.j., v móde NoSo (plné čiary) nie sú rozdiely medzi selektívnou a rozdelenou pozornosťou, zatiaľčo v móde No π (prerušované čiary) je tento rozdiel pre stredné úrovne hlasitosti veľmi výrazný.

Diskusia

To, že priestorovo ani priestorovo a frekvenčne rozdelená pozornosť neovplyvňuje detekovateľnosť kolokovaných (NoSo) stimulov naznačuje, že v tomto prípade človek tón nedetekuje na základe jeho polohy, ale jednoducho na základe zmeny zafarbenia šumu

spôsobenej tónom. Podobne, v prípade 4-kHz tónov, ktoré nie sú ani v konfigurácii NoS π vnímané ako priestorovo oddelené, naznačuje nulový efekt rozdelenia pozornosti, že človek na ich detekciu nepoužíva priestorovú informáciu.

Na druhej strane, priestorová neistota výrazne zhoršuje detekciu 400-Hz tónov v konfigurácii NoS π . Niekoľko existujúcich modelov binaurálneho počúvania (Durlach, 1972, Colburn, 1978, Stern and Trahiotis, 1992) predpokladá, že kľúč, ktorý človek k detekcii používa, je založený na zmene spektročasovej reprezentácie šumu spôsobenej prítomnosťou tónu, anatomicky niekde na úrovni mozgového kmeňa. Ak by tento predpoklad bol správny, nie je dôvod očakávať, že rozdelenie pozornosti akokoľvek ovplyvní detekciu. Výsledky tejto štúdie naznačujú, že, minimálne v situácii, keď sa človek musí sústrediť na viacero polôh, priestorový kľúč použitý na detekciu je buď na oveľa vyššej úrovni v sluchovej dráhe, alebo že pozornosť ovplyvňuje sluchovú dráhu už na úrovni mozgového kmeňa, t.j., oveľa skôr než je všeobecne akceptované. Takýto skorý vplyv pozornosti sa nedá vylúčiť ani preto, že vo vizuálnom systéme boli pozornostné efekty ukázané už na úrovni primárnej kôry (napr. Watanabe et al., 1998), ktorá z hľadiska úrovne analýzy vizuálnych vstupov zodpovedá sluchovému spracovaniu v mozgovom kmeni (Nelken, 2004).

Za predpokladu, že priestorová informácia sa pri vnímaní reči používa podobne ako pri detekcii (t.j., že človek priestor používa ak sú stimuly priestorovo oddelené, ale nie ak sú kolokované), je možné očakávať, že podobné výsledky by boli pozorované aj ak by úlohou poslucháča bolo počúvať jedného z viacerých súbežne hovoriacich ľudí. Overenie tohoto predpokladu vyžaduje ďalšie experimenty.

[Tento výskum bol čiastočne podporený grantom Vedeckej grantovej agentúry VEGA č. 1/3134/06]

Literatúra

Best, V., Gallun, F.J., Ihlefeld, A., and Shinn-Cunningham, B.G. (2006). "The influence of spatial separation on divided listening." *Journal of the Acoustical Society of America* 120:1506-1516

Broadbent DE (1958) *Perception and Communication*. Pergamon, Elmsford, New Jersey.

Cherry EC (1953) Some experiments upon the recognition of speech with one and two ears. *Journal of the Acoustical Society of America*, 25, 975-979.

- Colburn, H. S. (1977). "Theory of binaural interaction based on auditory-nerve data. II: Detection of tones in noise," *J. Acoust. Soc. Am.* 64, 525-533.
- Durlach, N. I. (1972). "Binaural Signal Detection: Equalization and Cancellation Theory," in *Foundations of Modern Auditory Theory*, edited by J. Tobias. (Academic Press, New York). pp. 369-463.
- Kandel, E.R., Schwartz, J.H., and Jessell, T.M. (2000) *Principles of Neural Science*. McGraw-Hill Medical.
- Kidd, G., Arbogast, T.L., Mason, C.R., and Gallun, F.J. (2005) The advantage of knowing where to listen. *Journal of the Acoustical Society of America*. 118, 3804-3815.
- LaBerge D (1995) *Attentional processing*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Nelken I. (2004) Processing of complex stimuli and natural scenes in the auditory cortex. *Curr Opin Neurobiol.* Aug;14(4):474-80.
- Parasuraman, R. (1998) *The Attentive Brain*. MIT Press.
- Scharf, B. (1998). Auditory attention: The psychoacoustical approach. In H. Pashler (Ed.), *Attention*. Hove, UK: Psychology Press.
- Shinn-Cunningham, B.G., Ihelfeld, A., Satyavarta, and Larson E. (2005). "Bottom-up and top-down influences on spatial unmasking," *Acta Acustica united with Acustica*. 91, 967-979.
- Spence, Ch. a Driver, J. (2004) *Crossmodal Space and Crossmodal Attention*. Oxford University Press.
- Stern R.M., Trahiotis C. (1992) The role of consistency of interaural timing over frequency in binaural lateralization. In: *Auditory physiology and perception* (Cazals Y, Demany L, Horner K, eds), pp 547-554. New York: Pergamon.
- Watanabe et al. (1998) Attention-Regulated Activity in Human Primary Visual Cortex. *J. Neurophysiology*, 79, 2218-2221.
- Yost, W. A. (1997). "The cocktail party problem: Forty years later," in *Binaural and Spatial Hearing in Real and Virtual Environments*, edited by R. A. Gilkey and T. R. Anderson (Erlbaum, Hillsdale, NJ), pp. 329–348.