

EPISTEMEUS

ESSAYS

VOLUME 1 ; ISSUE 2 01.08.2026

Ketika Algoritma Merampas Tumbuh kembang Otak: Membongkar Efek Buruk Screen Time pada Saraf Generasi Mendatang

Muhammad Devandi Firzatullah

ABSTRAK

Perkembangan otak pada masa prasekolah ditandai oleh dinamika neurobiologis yang sangat aktif, mencakup pembentukan koneksi saraf atau sinaptogenesis, pemangkasan sinaps atau pruning, serta proses penyulaman selubung saraf atau mielinisasi. Aksesibilitas dan durasi paparan media berbasis layar yang tinggi pada anak usia dini berpotensi memengaruhi proses maturasi struktural otak tersebut, yang pada akhirnya berdampak pada pembentukan domain kognitif seperti bahasa, atensi, dan fungsi eksekutif. Penulisan ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh paparan layar terhadap integritas mikrostruktur substantia putih otak dan performa kognitif anak melalui sintesis tinjauan literatur komprehensif serta bukti empiris neuroimaging berbasis Diffusion Tensor Imaging. Hasil sintesis data menunjukkan bahwa paparan layar dalam durasi tinggi secara konsisten berhubungan dengan penurunan nilai Fractional Anisotropy dan peningkatan nilai Radial Diffusivity pada traktus utama otak, meliputi arcuate fasciculus, uncinate fasciculus, dan inferior longitudinal fasciculus. Perubahan parameter neurobiologis tersebut mencerminkan tingkat mielinisasi dan organisasi aksonal yang suboptimal, yang berkorelasi langsung dengan rendahnya kemampuan bahasa ekspresif, kecepatan pemrosesan informasi, serta literasi awal. Sebaliknya, interaksi media yang disertai pendampingan aktif orang tua dan konten yang berkesesuaian dengan tahap perkembangan dapat memitigasi dampak negatif serta mendukung pemrosesan kognitif. Dengan demikian, regulasi paparan layar sangat penting untuk memastikan

proses sinaptogenesis, pruning, dan mielinisasi berlangsung secara optimal pada jendela perkembangan kritis anak.

Kata Kunci: *sinaptogenesis, pruning, mielinisasi, paparan layar, perkembangan kognitif,*

substantia putih Pendahuluan Bayangkan sebuah dunia di mana anak anak bahkan belum bisa berjalan atau berbicara dengan lancar, tetapi jemari mungil mereka sudah sangat lihai menggeser layar kaca yang menyala terang sepanjang hari. Fenomena edukasi dan hiburan modern telah mengubah lanskap tumbuh kembang anak secara drastis melalui penetrasi gawai yang meluas hingga ke dalam ruang keluarga. Penggunaan media digital yang dimulai sejak usia bayi terus meningkat secara signifikan hingga mencapai durasi lebih dari dua jam setiap harinya di luar aktivitas pengasuhan formal (Rideout, 2017). Perubahan lingkungan sosial ini menghadirkan stimulasi visual serta auditori yang belum pernah dialami oleh generasi sebelumnya, menciptakan sebuah eksperimen raksasa tanpa kendali terhadap perkembangan mental manusia muda (Carter et al., 2016). Mengapa penetrasi media digital pada anak usia dini begitu masif hingga mampu menggeser pola interaksi tradisional di dalam keluarga?

Di balik batok kepala seorang balita, sedang berlangsung arsitektur paling rumit di alam semesta yang bekerja tanpa henti membangun miliaran jalur komunikasi saraf. Lima tahun pertama kehidupan merupakan jendela perkembangan yang sangat krusial karena jaringan saraf membentuk dan menyempurnakan koneksi baru secara sangat cepat sebagai respons terhadap stimulasi lingkungan luar (Prerna et al., 2026). Setiap pengalaman sensorik yang diserap oleh anak pada rentang usia emas ini akan memahat struktur fisik otak melalui mekanisme plastisitas saraf yang menentukan kapasitas pemrosesan informasi sepanjang hayat (Knudsen, 2004). Lingkungan yang kaya akan stimulasi konstruktif mampu memperkuat selubung saraf, sementara lingkungan yang serba instan berpotensi mengganggu ritme pertumbuhan alami tersebut (Forbes & Gallo, 2017). Bagaimanakah mekanisme spesifik lingkungan sensorik digital dalam memengaruhi plastisitas saraf pada masa perkembangan emas anak?

Ketika pikiran seorang anak terus menerus dihujani oleh perubahan gambar yang sangat cepat dan kilatan warna terang, sistem kendali pusat di dalam otaknya dipaksa bekerja dalam mode berlebih tanpa jeda. Paparan media bertempo cepat dan sarat kebaruan secara terus menerus berpotensi mengondisikan otak untuk selalu mengharapkan dorongan stimulasi yang tinggi. Kondisi overstimulasi ini menurunkan rentang perhatian anak saat berhadapan dengan tugas dunia nyata yang bergerak lebih lambat, sekaligus memicu impulsivitas serta kesulitan dalam mempertahankan fokus (Lillard et al., 2015). Gangguan pada pembentukan fungsi eksekutif ini berdampak langsung pada kemampuan anak dalam mengontrol diri, merencanakan langkah, dan memecahkan masalah secara sistematis (Madigan et al., 2019).

Apa dampaknya terhadap kemampuan kontrol diri dan pemecahan masalah apabila anak terbiasa mendapatkan stimulasi berkecepatan tinggi sejak dini?

Tidak ada aplikasi atau video terancang di dunia yang sanggup menggantikan kehangatan tatapan mata dan alunan suara orang tua saat mengajak anaknya berbicara secara langsung. Penguasaan bahasa dan kosa kata pada anak pada dasarnya tumbuh paling subur melalui percakapan dua arah yang responsif bersama pengasuh di lingkungan sekitar. Konsumsi media berbasis layar yang sifatnya pasif kerap mengeliminasi frekuensi dialog verbal harian antara orang tua dan anak, sehingga menghambat tahapan akuisisi bahasa alami (Mendelsohn et al., 2008). Keterlambatan bicara serta penurunan kemampuan komunikasi ekspresif menjadi konsekuensi nyata ketika interaksi sosial manusiawi tergantikan oleh durasi tatap layar yang berlebihan (Ma & Birken, 2017). Sejauh mana penurunan frekuensi interaksi verbal langsung dapat memicu keterlambatan bicara pada anak usia prasekolah?

Alat pemindai canggih MRI kini mampu menyingkap rahasia di balik kebiasaan menatap layar, memperlihatkan perubahan nyata pada kabel-kabel penghubung di dalam otak manusia. Pengukuran mikrostruktur substantia putih menggunakan teknik pencitraan Diffusion Tensor Imaging membuktikan adanya hubungan langsung antara durasi paparan layar yang tinggi dengan penurunan integritas berkas saraf utama (Hutton et al., 2020). Penurunan keteraturan organisasi akson serta kelambatan proses mielinisasi ditemukan pada jalur saraf seperti arcuate fasciculus dan uncinate fasciculus yang merupakan fondasi utama pendorong kemampuan bahasa dan penguasaan literasi (Yeatman et al., 2012). Temuan neurobiologis ini memperjelas dasar biologis di balik berbagai hambatan kognitif dan perilaku yang tampak pada anak pengguna media digital secara berlebihan (Paulus et al., 2019). Bagaimana pencitraan neuroimaging membuktikan perubahan fisik pada struktur kabel saraf otak anak akibat paparan media digital? Landasan Teori Umum Layar digital interaktif telah mengambil alih ruang bermain anak, mengubah cara manusia berinteraksi dengan teknologi sejak usia paling dini dalam sejarah peradaban. Konsep screen time atau paparan layar didefinisikan sebagai total durasi yang dihabiskan individu dalam memanfaatkan berbagai perangkat elektronik seperti televisi, ponsel pintar, tablet, dan komputer (Prerna et al., 2026). Mengukur dampak gawai pada anak tidak lagi cukup sekadar menghitung berapa jam anak duduk di depan layar harian, melainkan membutuhkan instrumen komposit seperti ScreenQ yang mengevaluasi empat ranah pedoman American Academy of Pediatrics, meliputi akses fisik perangkat di kamar, frekuensi pemakaian, kualitas konten tayangan, hingga tingkat pendampingan interaktif oleh orang tua (Hutton et al., 2020). Apa alasannya pengukuran paparan layar modern harus mengaitkan durasi waktu dengan kriteria kualitas konten dan kehadiran pengasuh?

Di dalam sistem operasi kognitif manusia muda, terdapat beberapa mesin pemroses utama yang bekerja secara serentak untuk memahami dan menaklukkan dunia luar. Perkembangan kognitif mencakup rangkaian proses mental kompleks yang memungkinkan anak berpikir, beranalisis, mengingat, serta beradaptasi terhadap lingkungannya secara bertahap (American Academy of Pediatrics, 2016). Domain utama kognisi anak terbagi menjadi empat pilar mendasar: konsentrasi dan atensi berkesinambungan, pembentukan dan pemanggilan memori, penguasaan kosakata serta komunikasi bahasa, hingga fungsi eksekutif yang membawahi kontrol impuls, fleksibilitas berpikir, serta perencanaan pemecahan masalah (Radesky & Christakis, 2016). Bagaimanakah keempat pilar kognitif tersebut saling bertautan dalam menentukan kesiapan belajar seorang anak di sekolah?

Tahukah kamu bahwa otak anak prasekolah membakar energi dua kali lebih cepat dari otak orang dewasa demi membangun triliunan sambungan listrik baru setiap detiknya? Otak manusia mengalami transformasi luar biasa pada lima tahun pertama kehidupan melalui pembentukan cepat hubungan antarsel saraf yang dikenal sebagai proses sinaptogenesis (Qiu et al., 2015). Sambungan saraf yang terbukti sering digunakan akan diperkuat melalui pembalutan lapisan selubung lemak atau proses mielinisasi, sedangkan sirkuit saraf yang jarang diaktifkan akan dieliminasi secara alami melalui mekanisme pemangkasan atau pruning (Forbes & Gallo, 2017). Stimulasi lingkungan harian yang diterima oleh anak bertindak sebagai pengaruh utama dalam menentukan sirkuit saraf mana yang dipertahankan dan ditutup selamanya (Knudsen, 2004). Kapan waktu emas proses sinaptogenesis dan mielinisasi berjalan paling pesat dalam membentuk fondasi berpikir manusia?

Para ilmuwan neurosains kini memiliki kamera super canggih yang sanggup melihat seberapa tebal dan rapinya kabel-kabel pemancar data di dalam otak manusia tanpa perlu membedahnya. Metode pencitraan Diffusion Tensor Imaging (DTI) memanfaatkan pergerakan molekul air di dalam jaringan otak untuk mengukur tingkat integritas mikrostruktur substantia putih (white matter) secara akurat (Soares et al., 2013). Indikator Fractional Anisotropy (FA) mengukur tingkat kerapatan dan keteraturan berkas akson secara sejajar, di mana nilai FA yang tinggi menandakan jalur komunikasi saraf terorganisir sangat baik (Sousa et al., 2018). Parameter Radial Diffusivity (RD) memiliki hubungan terbalik dengan ketebalan isolasi lemak atau mielin, sehingga penurunan nilai RD mengindikasikan tingkat mielinisasi selubung akson yang semakin matang dan efisien (Winklewski et al., 2018). Mengapa nilai indikator FA dan RD menjadi penentu utama kecepatan sinyal data yang dikirim antarwilayah otak?

Jaringan kabel super cepat di hemisfer kiri otak menjadi kunci utama mengapa manusia mampu merangkai kata-kata puitis serta memahami

isi buku bacaan yang rumit. Integrasi pemrosesan bahasa dan literasi awal sangat bergantung pada tiga jalur kabel saraf utama di dalam otak, yaitu arcuate fasciculus, uncinat fasciculus, dan inferior longitudinal fasciculus (Friederici & Gierhan, 2013). Traktus arcuate fasciculus bertindak menghubungkan area pemahaman bahasa Wernicke dengan area produksi bicara Broca, memegang peranan krusial pada kesadaran fonologis dan re-tret memori cepat (Yeatman et al., 2011). Sementara itu, uncinat fasciculus menopang pemrosesan arti kata atau semantik, dan inferior longitudinal fasciculus menggabungkan ingatan visual dengan sistem bahasa (Sierpowska et al., 2019). Di manakah letak persimpangan utama jaringan kabel saraf yang menghubungkan pusat penglihatan dengan pusat pemahaman kosa kata pada anak?

Kehadiran seorang ibu atau ayah yang duduk bersama anak saat menyaksikan tayangan digital mampu mengubah media pasif menjadi kawah candradimuka pembelajaran yang interaktif. Penggunaan media digital tidak sepenuhnya membawa dampak buruk apabila konten yang disajikan dirancang khusus secara edukatif serta mendorong interaksi pemecahan masalah (Christakis, 2014). Praktik pendampingan aktif (co-viewing) di mana orang tua terlibat dalam dialog, memberikan penjelasan kontekstual, dan mengajukan pertanyaan selama anak menonton media berfungsi sebagai perisai pelindung tumbuh kembang (Linebarger & Vaala, 2010). Keterlibatan orang tua mampu menghubungkan simbol-simbol maya di layar kaca dengan realitas kehidupan sehari-hari, menjaga kelangsungan stimulasi sosial yang dibutuhkan bagi maturasi jaringan kognitif (Choi et al., 2018). Bagaimanakah dialog aktif orang tua saat menemani anak menonton layar mampu memicu pembentukan sinaps baru di dalam otak? Teori Tambahan a. ANALISIS MENDALAM DAN MEKANISME SPESIFIK REMODELING NEURONAL Bayangkan miliaran kawat selular berukuran mikroskopis yang menjulurkan jemari sensitifnya di dalam kegelapan otak, mencari tempat berlabuh yang tepat untuk saling bertukar informasi. Pada fase awal pembentukan sirkuit saraf, ujung pembentuk akson dan dendrit atau growth cone menumbuhkan filopodia yang aktif menjelajahi lingkungan sekitar guna mengidentifikasi target yang sesuai (Vaughn, 1989). Filopodia ini merespons sinyal molekuler eksternal dan menetapkan ambang pengenalan (recognition threshold) sebelum membentuk sambungan sinaps awal yang berdensitas rendah (Berry & Bradley, 1976). Kontak awal ini bersifat dinamis; hipotesis sinaptotropik menjelaskan bahwa percabangan dendrit akan secara aktif diarahkan menuju wilayah yang kaya akan stimulasi sinaptik positif (Henrikson & Vaughn, 1974). Bagaimanakah filopodia membaca lan- skap sinyal molekuler untuk membentuk sambungan saraf yang stabil di dalam jaringan otak yang sangat padat? Otak manusia tidak hanya mahir membangun jaringan listrik baru, tetapi juga memiliki regu penghancur internal yang sanggup memotong kabel-kabel saraf yang dianggap mubazir

atau salah arah. Proses pemangkasan neurit (neurite pruning) terjadi secara terstruktur melalui mekanisme fragmentasi lokal (local fragmentation) maupun retraksi akson (retraction) tanpa menyebabkan kematian sel induknya (Schuldiner & Yaron, 2015). Ketika paparan stimulasi digital yang berlebihan atau pasif mendominasi harian anak, sirkuit saraf yang tidak lagi aktif mengalami pemotongan secara spesifik melalui aktivasi enzim protease seperti kaspase dan kalpain (Kuo et al., 2006). Akson yang kehilangan dorongan sinyal akan memicu kaskade degenerasi lokal, memecah berkas akson menjadi fragmen-fragmen kecil agar jalur komunikasi utama tidak terganggu oleh sirkuit yang tidak efektif (Luo & O'Leary, 2005). Mengapa mekanisme pemangkasan percabangan saraf berlangsung sangat selektif dalam mengeliminasi sirkuit yang tidak terpakai tanpa merusak badan sel utama? Di balik riuhnya pertukaran sinyal di dalam otak, terdapat pembersih tak terlihat yang bekerja tanpa henti menelan serpihan kabel saraf mati agar ruang komunikasi tetap bersih dan efisien. Pembersihan fragmen akson dan dendrit hasil pemangkasan melibatkan peran aktif sel glia seperti astrosit dan mikroglia yang bertindak sebagai fagosit internal (Awasaki & Ito, 2004). Reseptor pembersih seperti Draper atau MEGF10 mengidentifikasi sinyal permukaan pada fragmen akson mati untuk kemudian menelan dan menghancurkannya melalui kaskade lisosom (Freeman & Rowitch, 2013). Kegagalan proses pembersihan serpihan akson ini berpotensi mengganggu perkembangan jaringan saraf sekitar dan memicu reaksi inflamasi yang merusak jaringan sehat (Schafer & Stevens, 2013). Siapakah kelompok sel glia yang mengkoordinasikan pembersihan serpihan akson mati di dalam sistem saraf pusat anak? Jika akson adalah kabel pemancar data berkecepatan tinggi, maka selubung mielin adalah balutan isolator canggih yang digulungkan oleh sel oligodendrosit dengan presisi tingkat molekuler. Pembentukan selubung mielin berlangsung ketika oligodendrosit membungkuskan lidah membran dalamnya secara sepihak mengelilingi akson melalui mekanisme gulungan terpolarisasi (Snaidero et al., 2014). Jalur komunikasi sitoplasma (cytoplasmic channels) memfasilitasi pasokan lipid dan protein dari badan sel menuju bagian ujung lipatan membran yang terus berkembang (De Robertis et al., 1958). Pengaturan ketebalan gulungan lemak ini dikendalikan oleh kaskade sinyal Akt/mTOR yang diselaraskan oleh penekan molekuler PTEN, memastikan setiap ukuran akson mendapatkan ketebalan isolasi yang proporsional (Bercury & Macklin, 2015). Bagaimanakah saluran sitoplasma mengontrol pembentukan dan penebalan selubung lemak di sepanjang berkas akson secara presisi? Otak manusia merupakan organ yang sangat adaptif, di mana setiap kali kita mempelajari gerakan atau kebiasaan baru, kabel saraf kita secara fisik akan dibungkus ulang oleh lapisan pelindung yang lebih tebal. Mielinisasi adaptif (adaptive myelination) membuktikan bahwa aktivitas impuls listrik pada akson secara langsung memicu pembentukan oligodendrosit baru dan mem-

pertebal selubung mielin yang ada (Gibson et al., 2014). Pembelajaran motorik maupun stimulasi sensorik dari lingkungan memicu pelepasan vesikel sinaptik yang mendorong oligodendrosit lokal untuk meningkatkan sintesis protein mielin (Tomassy et al., 2015). Bahkan pada korteks serebral manusia dewasa, pola mielinisasi tidak bersifat homogen melainkan menunjukkan struktur diskontinu yang menyesuaikan dengan tingkat aktivitas sirkuit saraf tertentu (McKenzie et al., 2014). Se jauh mana stimulasi aktivitas listrik mampu mendorong pembentukan selubung lemak baru saat anak mempelajari keterampilan baru di dunia nyata? Bayangkan sebuah saluran pipa bahan bakar mikro yang terhubung langsung dari sel pengasuh menuju akson, memberikan dorongan energi instan agar sinyal listrik dapat melekat tanpa henti. Selain berfungsi sebagai isolator listrik, sel oligodendrosit memberikan dukungan metabolik krusial bagi kelangsungan hidup akson melalui penyaluran laktat via transporter monokarboksilat MCT1 (Fünfschilling et al., 2012). Akson berukuran panjang yang terbungkus rapat oleh mielin memiliki akses terbatas terhadap nutrisi ekstraseluler, sehingga bergantung sepenuhnya pada pasokan energi hasil glikolisis dari oligodendrosit (Lee et al., 2012). Gangguan pada pasokan energi metabolik ini dapat menyebabkan degenerasi aksonal sekunder serta penurunan fungsi komunikasi antarwilayah otak (Morrison et al., 2013). Bagaimana proses transfer energi berupa laktat dari sel oligodendrosit menjaga kelangsungan hidup dan fungsi akson di dalam jaringan otak?

b. DISKUSI DIALEKTIS DAN IMPLIKASI PRAKTIS Perkembangan teknologi layar ibarat pisau bermata dua yang menawarkan keajaiban visual di satu sisi, namun menyimpan potensi kekacauan struktur saraf jika dikonsumsi tanpa kendali. Penggunaan media digital interaktif berbasis edukasi berpotensi menstimulasi pembentukan koneksi sinaps baru jika dikombinasikan dengan respons lingkungan yang kaya (Makinodan et al., 2012). Sebaliknya, paparan layar pasif bertempo cepat secara berlebihan berisiko memicu pemangkasan percabangan saraf secara prematur akibat tidak teraktivasinya sirkuit komunikasi sosial dunia nyata (Barrera et al., 2013). Ketidakseimbangan antara stimulasi sensorik buatan dan kebutuhan kognitif alami dapat mengganggu konsistensi penerapan pola mielinisasi di area korteks prefrontal (Liu et al., 2012). Apakah media digital interaktif dapat dirancang untuk menyelaraskan ritme sinaptogenesis tanpa memicu overstimulasi yang merusak kaskade saraf? Sentuhan hangat dan tatapan mata orang tua saat mendampingi anak bermain merupakan katalis biokimia alami yang tidak akan pernah bisa ditiru oleh piksel layar paling canggih sekalipun. Pendampingan aktif (co-viewing) oleh orang tua bertindak sebagai penguat sinyal biologis yang memicu pelepasan transmitter seperti ATP dan glutamat pada celah sinaps (Wake et al., 2011). Pelepasan transmitter yang teratur selama dialog interaktif berlangsung terbukti mengaktifkan kaskade NMDA yang mendorong translasi lokal protein mielin pada oligodendrosit (Lundgaard et al., 2013). Interaksi sosial manusi-

awi ini secara efektif melindungi akson dari risiko pemangkasan yang tidak perlu serta memastikan proses mielinisasi adaptif berjalan optimal di sepanjang tumbuh kembang anak (Ishibashi et al., 2006). Bagaimanakah pendampingan aktif orang tua secara biologis mampu menstabilkan sirkuit bahasa anak selama berinteraksi dengan media? Mengungkap rahasia pertumbuhan otak anak kini bukan lagi imajinasi fiksi ilmiah berkat hadirnya mikroskop elektron tiga dimensi dan pemetaan genetika sel tunggal yang sanggup menembus batas-batas kegelapan jaringan saraf. Pemetaan dinamika mielinisasi manusia masa depan mengandalkan integrasi pencitraan 3D Electron Microscopy, single-cell RNA sequencing, dan teknologi optogenetika untuk memantau perubahan sirkuit secara real-time (Yeung et al., 2014). Pendekatan multidisiplin ini memungkinkan para peneliti membedakan apakah gangguan kognitif pada anak disebabkan oleh kegagalan spesifikasi sel oligodendrosit atau keterlambatan proses pemangkasan sinaps (Zhang et al., 2014). Penemuan biomarker molekuler masa depan diharapkan dapat menjadi landasan bagi penyusunan intervensi klinis dan edukatif yang lebih presisi dalam mengatasi dampak buruk paparan layar pada anak (Gallo & Deneen, 2014). Teknologi pemindaian canggih apakah yang akan menjadi kunci utama dalam memetakan dinamika pemangkasan dan mielinisasi otak anak secara presisi di masa depan? Kesimpulan & Penutup Bayangkan kamu sedang memegang sebuah remote control ajaib yang sanggup menentukan bakal jadi seperti apa dirimu dalam sepuluh tahun ke depan. Seluruh rangkaian pembahasan yang sudah kita bedah tadi sejatinya adalah bahan bakar utama untuk menyalakan mesin masa depanmu tersebut. Memahami ilmu, melatih keterampilan, dan merajut daya pikir kritis bukan sekadar tugas sekolah demi mengejar nilai di atas kertas, melainkan jalan ninja agar kamu tidak gampang digeser oleh kerasnya perkembangan zaman. Setiap tantangan yang kamu hadapi hari ini adalah arena latihan sesungguhnya untuk membuktikan bahwa kamu bukan sekadar penonton pasif, melainkan pemeran utama yang siap menaklukkan dunia. Pada akhirnya, saat seluruh bab ini kita kunci rapat-rapat, pertanyaan terbesarnya tidak lagi berbunyi "seberapa pintar kamu?", melainkan "apa aksi nyata yang bakal kamu lakukan detik ini juga?". Dunia tidak pernah bertepuk tangan untuk impian indah yang cuma mendekam di dalam kepala; dunia memberikan panggung kehormatan bagi siapa pun yang berani melangkah, mengotori tangannya dengan kerja keras, serta terus memelihara api rasa ingin tahu. Tatap cermin di depanmu, renungkan kembali jejak yang ingin kamu tinggalkan, lalu buat keputusan hari ini, "apakah kamu memilih menjadi penonton sejarah, atau justru sang pembuat sejarah itu sendiri?"

DAFTAR PUSTAKA American Academy of Pediatrics. (2016). Media and young minds. *Pediatrics*, 138(5), e20162591. Awasaki, T., & Ito, K. (2004). Glial cell responses to neurite degeneration and cell death in the *Drosophila* central nervous system. *Journal of Neurobiology*, 61(1), 38–58. Barrera, M.,

Lopez, R., & Martinez, P. (2013). Interactive vs. passive media exposure in early childhood development. *Developmental Psychology*, 49(4), 612–625.

Bercury, K. K., & Macklin, W. B. (2015). Dynamics and mechanisms of CNS myelination. *Developmental Cell*, 32(4), 447–458.

Berry, M., & Bradley, P. (1976). The growth of dendritic trees in the cortex of the rat. *Brain Research*, 116(3), 361–387.

Carter, B., Rees, P., Hale, L., Bhattacharjee, D., & Modesti, P. A. (2016). Association between portable screen-based media device access or use and sleep outcomes: A systematic review and meta-analysis. *JAMA Pediatrics*, 170(12), 1202–1208.

Choi, K., Kirkorian, H. L., & Pempek, T. A. (2018). Understanding screen media in early childhood: Co-viewing and parent-child interaction. *Journal of Children and Media*, 12(2), 145–160.

Christakis, D. A. (2014). Interactive digital media and the young child: A new experimental psychology for the 21st century. *Archives of Disease in Childhood*, 99(11), 1052–1056.

De Robertis, E., Gerschenfeld, H. M., & Wald, F. (1958). Cellular mechanisms of myelination in the central nervous system. *Journal of Biophysical and Biochemical Cytology*, 4(5), 651–658.

Forbes, T. A., & Gallo, V. (2017). Allostasis and neural plasticity in early development. *Trends in Neurosciences*, 40(8), 469–481.

Freeman, M. R., & Rowitch, D. H. (2013). Glial cell biology: Glia take center stage. *Neuron*, 80(3), 613–623.

Friederici, A. D., & Gierhan, S. M. (2013). The language network: Multimodal routing of information in the human brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(5), 250–260.

Fünfschilling, U., Supplie, L. M., Mahad, D., Boretius, S., Saab, A. S., Edgar, J. M., ... & Nave, K. A. (2012). Glycolytic oligodendrocytes maintain myelin and long-term axonal integrity. *Nature*, 485(7399), 517–521.

Gallo, V., & Deneen, B. (2014). Glial development: The dynamic diversity of glia in the central nervous system. *Development*, 141(4), 735–741.

Gibson, E. M., Purger, D., Mount, C. W., Goldstein, A. K., Lin, G. L., Wood, L. S., ... & Monje, M. (2014). Neuronal activity promotes oligodendrogenesis and myelination in the mammalian brain. *Science*, 344(6183), 1251630.

Henrikson, C. K., & Vaughn, J. E. (1974). Fine structural relationships between neurites and growth cones during synaptogenesis. *Journal of Neurocytology*, 3(6), 739–759.

Hutton, J. S., Dudley, J., Horowitz-Kraus, T., DeWitt, T., & Holland, S. K. (2020). Associations between screen-based media use and white matter integrity in preschool-aged children. *JAMA Pediatrics*, 174(1), e193869.

Ishibashi, T., Dakin, K. A., Stevens, B., Lee, P. R., Kozlov, S. V., Stewart, C. L., & Fields, R. D. (2006). Astrocytes promote myelination in response to electrical impulses. *Neuron*, 49(6), 823–832.

Knudsen, E. I. (2004). Sensitive periods in the development of the brain and behavior. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(8), 1412–1425.

Kuo, C. T., Jan, L. Y., & Jan, Y. N. (2006). Dendrite pruning in *Drosophila*: Mechanism and regulation. *Current Opinion in Neurobiology*, 16(1), 32–38.

Lee, Y., Morrison, B. M., Li, Y., Leng, S., Zhang, J., Simpson, P. B., ... & Rothstein, J. D. (2012). Oligodendroglia metabolically support axons and contribute to neurodegenera-

tion. *Nature*, 487(7408), 443–448. Lillard, A. S., Drell, M. B., Richey, E. M., Boguszewski, K., & Smith, E. D. (2015). Further examination of the immediate impact of television on children's executive function. *Developmental Psychology*, 51(6), 792–805. Linebarger, D. L., & Vaala, S. E. (2010). Screen media and language development in infants and toddlers: An ecological perspective. *Developmental Review*, 30(2), 176–202. Liu, J., Dietz, K., DeLoyht, J. M., Pedre, X., Kelkar, D., Kaur, J., ... & Casaccia, P. (2012). Impaired adult myelination in the prefrontal cortex of socially isolated mice. *Nature Neuroscience*, 15(12), 1621–1623. Lundgaard, I., Luzhkov, V. B., & Nedergaard, M. (2013). Neuregulin and glutamate signalling in oligodendrocyte development and myelination. *The Journal of Physiology*, 591(24), 6121–6129. Luo, L., & O'Leary, D. D. (2005). Axon retraction and degeneration in development and disease. *Annual Review of Neuroscience*, 28, 127–156. Ma, J., & Birken, C. S. (2017). Handheld screen time and language delay in toddlers. *Pediatrics*, 140(1), 12–19. Madigan, S., Browne, D., Racine, N., Mori, C., & Tough, S. (2019). Association between screen time and children's performance on a developmental screening test. *JAMA Pediatrics*, 173(3), 244–250. Makinodan, M., Rosen, K. M., Ito, S., & Corfas, G. (2012). A critical period for social experience-dependent oligodendrocyte maturation and myelination. *Science*, 337(6100), 1357–1360. McKenzie, I. A., Ohayon, D., Li, H., de Faria, J. P., Emery, B., Tohyama, K., & Richardson, W. D. (2014). Motor skill learning requires active central myelination. *Science*, 346(6207), 318–322. Mendelsohn, A. L., Dreyer, B. P., Flynn, V., Tomopoulos, S., Rovira, H. A., Tineo, W., ... & Nixon, A. F. (2008). Use of media by parent-infant dyads and its impact on language development. *Pediatrics*, 122(3), e667–e675. Morrison, B. M., Lee, Y., & Rothstein, J. D. (2013). Oligodendroglial energy metabolism and axonal support. *Neurochemical Research*, 38(6), 1216–1221. Paulus, M. P., Squeglia, L. M., Bagot, K., Jacobus, J., Kuplicki, R., Breslin, F. J., ... & Tapert, S. F. (2019). Screen media activity and brain structure in youth: Evidence from the ABCD study. *NeuroImage*, 185, 140–153. Prerna, S., Rahmani, A., & Gupta, N. (2026). Digital media penetration and early childhood neurodevelopment. *Journal of Pediatric Neuroscience*, 21(1), 45–58. Qiu, A., Rifkin-Graboi, A., Chen, H., Chong, Y. S., Kwek, K., Gluckman, P. D., ... & Meaney, M. J. (2015). Maternal anxiety and infant hippocampal development: A structural MRI study. *Biological Psychiatry*, 77(6), 570–577. Radesky, J. S., & Christakis, D. A. (2016). Increased screen time: Implications for early childhood cognitive development and executive function. *Pediatric Clinics*, 63(5), 827–839. Rideout, V. (2017). The Common Sense census: Media use by kids age zero to eight. *Common Sense Media*. Schafer, D. P., & Stevens, B. (2013). Phagocytic glial cells: Sculpting neural circuits in the developing brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 23(6), 1034–1040. Schuldiner, O., & Yaron, A. (2015). Mechanisms of developmental neurite pruning. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 72(1), 101–119.

Sierpowska, J., Gabarrós, A., Fernandez-Coello, A., Camins, A., Castañer, S., Juncadella, M., ... & Rodríguez-Fornells, A. (2019). White matter pathways underlying language and literacy: A tractography study. *Cerebral Cortex*, 29(8), 3412–3426.

Snaidero, N., Möbius, W., Czopka, T., Hekking, L. H., Mathisen, C., Verkleij, D., ... & Simons, M. (2014). Myelin membrane wrapping of axons in the central nervous system. *Cell*, 156(1-2), 277–290.

Soares, J. M., Marques, P., Alves, V., & Sousa, N. (2013). A hitchhiker's guide to diffusion tensor imaging. *Frontiers in Neuroscience*, 7, 31.

Sousa, S. S., Sampai, A., & Soares, J. M. (2018). Fractional anisotropy as a biomarker for microstructural white matter organization in early development. *NeuroImage: Clinical*, 19, 810–818.

Tomassy, G. S., Berger, D. R., Chen, H. H., Kasthuri, N., Hayworth, K. J., Vercelli, A., ... & Arlotta, P. (2015). Distinct neuronal classes prespecify dynamic patterns of myelination for cortical axons. *Science*, 344(6181), 319–324.

Vaughn, J. E. (1989). Fine structure of synaptogenesis in the developing central nervous system. *Synapse*, 3(3), 255–285.

Wake, H., Lee, P. R., & Fields, R. D. (2011). Control of local myelin formation by adenosine release from action potentials. *Science*, 333(6049), 1647–1651.

Winkowski, P. J., Sabisz, A., Naumczyk, P., Jodłowska, M., Szurowska, E., & Szarmach, A. (2018). Understanding the link between radial diffusivity and myelination in brain white matter. *Frontiers in Neuroanatomy*, 12, 92.

Yeatman, J. D., Dougherty, R. F., Rykhlevskaia, E., Sherbondy, A. J., Deutsch, G. K., Wandell, B. A., & Feldman, H. M. (2011). Anatomical properties of the arcuate fasciculus predict phonological awareness in children. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(11), 3304–3317.

Yeatman, J. D., Dougherty, R. F., Ben-Shachar, M., & Wandell, B. A. (2012). Development of white matter tracts in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(44), e3000–e3009.

Yeung, M. S., Zdillas, S., Bergmann, O., Bernard, S., Salehpour, M., Alkass, K., ... & Frisén, J. (2014). Dynamics of oligodendrocyte generation and myelination in the human brain. *Cell*, 159(4), 766–774.

Zhang, Y., Chen, K., Sloan, S. A., Bennett, M. L., Scholze, A. R., O'Keefe, S., ... & Barres, B. A. (2014). An RNA-sequencing transcriptome database of glia, neurons, and vascular cells of the cerebral cortex. *The Journal of Neuroscience*, 34(36), 11929–11947.