

Chapman University

## Chapman University Digital Commons

---

Engineering Faculty Articles and Research

Fowler School of Engineering

---

11-30-2021

### Digital Markers of Autism

Ivonne Monarca

Franceli L. Cibrian

Monica Tentori

Follow this and additional works at: [https://digitalcommons.chapman.edu/engineering\\_articles](https://digitalcommons.chapman.edu/engineering_articles)



Part of the [Other Computer Engineering Commons](#), [Other Electrical and Computer Engineering Commons](#), [Other Mental and Social Health Commons](#), [Other Psychiatry and Psychology Commons](#), and the [Psychological Phenomena and Processes Commons](#)

---

---

## Digital Markers of Autism

### Comments

This article was originally published in *Avances en Interacción Humano-Computadora*, volume 1, issue 6, in 2021. <http://dx.doi.org/10.47756/aihc.y6i1.104>

### Creative Commons License



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-Noncommercial-No Derivative Works 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

### Copyright

The authors

---

# Digital markers of Autism

Ivonne Monarca, Franceli L. Cibrian, Monica Tentori

Published: 30 November 2021

## Abstract

Autism Spectrum Disorder (ASD) is a neurological condition that affects how a people communicate and interact with others. The use of screening tools during childhood is very important to detect those children who need to be referred for a diagnosis of ASD. However, most screening tools are based on parents' responses so the result can be subjective. In addition, most screening tools focus on social and communicative skills leaving aside sensory features, which have shown to have the potential to be ASD markers. Tactile processing has been little explored due to lack of tools to assess it, however with the growth of haptic interfaces there is potential to assess tactile processing and identify digital markers of ASD.

## Keywords:

Autism Spectrum Disorder; Screening; Digital markers; Haptic interfaces; Tactile processing.

## 1 Introducción

El Trastorno del Espectro Autista (TEA) es un trastorno del desarrollo neurológico que se presenta durante la primera infancia (0-6 años de edad) y persiste durante toda la vida de una persona. Se considera que una persona tiene autismo si presenta las siguientes características [3].

- Déficits persistentes en la comunicación y en la interacción social.
- Patrones repetitivos y restringidos de conducta, actividades e intereses.

El TEA no afecta de la misma manera a todas las personas, ya que los síntomas varían dependiendo del grado de severidad. El grado de severidad se determina de acuerdo al grado de los síntomas de la comunicación social y de comportamientos restringidos y repetitivos: grado 3 "necesita ayuda muy notable"; grado 2 "necesita ayuda notable"; y grado 1 "necesita ayuda" [3].

El uso de herramientas de cribado (i.e., pruebas, exámenes u otros procedimientos de fácil y rápida aplicación durante la infancia es de suma importancia para poder detectar a niños que muestran señales de TEA y que necesitan ser referidos a un especialista para

obtener un diagnóstico completo [9,17]. Sin embargo la mayoría de las herramientas de cribado de TEA, se basan en cuestionarios que los padres o cuidadores deben contestar [18]. Esto provoca que el cribado sea subjetivo y puede afectar la posibilidad de obtener un diagnóstico oportuno. Además de que la mayoría de las preguntas de estas herramientas se centran en las áreas de comunicación y socialización, dejando a un lado el procesamiento sensorial, el cual se ha documentado que afecta al 90% de los niños con TEA y que las características sensoriales tienen el potencial de ser marcadores del TEA.

Hasta el momento el procesamiento táctil ha sido poco explorado debido a la falta de herramientas para evaluarlo, sin embargo, con el crecimiento de las interfaces hápticas existe un potencial para evaluar el procesamiento táctil e identificar marcadores digitales [23] del TEA.

Las interfaces hápticas imitan las características táctiles o cinéticas de un objeto. Las interfaces hápticas pueden ser: (1) Pasivas. Usan características espaciales o materiales para estimular la piel, como texturas; ó (2) Activas. Usan actuadores para estimular la piel, como motores de vibración [20,21,29]. Las interfaces hápticas activas se han vuelto cada vez más comunes en nuestra vida diaria, por ejemplo, algunos celulares inteligentes han incorporado patrones de vibración -una función de intensidad, ritmo, nitidez que representan la onda de la vibración- para dar diferentes notificaciones a los usuarios.

La investigación alrededor de las interfaces hápticas ha mostrado que son aceptadas por los niños con TEA y que pueden ser utilizadas como herramientas terapéuticas [7,12] o de enseñanza para niños con TEA [26-37].

La literatura también ha mostrado que existen diferencias entre niños neurotípicos y niños con ASD al procesar estímulos vibrotáctiles [27]; sin embargo, hasta nuestro conocimiento, poco se ha explorado acerca de si las actuales interfaces hápticas pueden ser usadas para evaluar el procesamiento táctil de niños con TEA e identificar marcadores digitales que puedan ser usados como herramientas de apoyo en el cribado del TEA.

## 2 Trabajo Relacionado

### 2.1 Marcadores digitales del TEA

La investigación en torno a los marcadores digitales del TEA ha explorado en el uso de sensores vestibulares para identificar movimientos estereotipados [2,13,15,28,34]. Por ejemplo, para detectar el aleteo de manos y el balanceo, en uno de los estudios se propuso colocar un acelerómetro en cada muñeca y uno en la espalda en 6 niños con autismo [2]. Se recolectaron datos mientras los niños estaban sentados y mientras realizaban actividades típicas de un día de clases. Se calcularon cinco características relacionadas con funciones de dominio de tiempo y frecuencia para cada flujo

---

Monarca, Ivonne., Tentori, Monica  
CICESE  
Ensenada, Mexico  
monarca@cicese.edu.mx , mtentori@cicese.mx

Cibrian, Franceli L.  
Chapman University  
Orange, United States  
cibrian@chapman.edu

de aceleración. Se utilizó un árbol de decisión para clasificar los datos. La precisión que obtuvieron al clasificar los datos como movimientos estereotipados fue de 88.6% a 89.5%.

Para evitar la instrumentación de los usuarios, otras investigaciones han propuesto el uso de sensores en el ambiente para analizar datos relacionando con la mirada [22,24,25,32,36], la vocalización [10,30,35] y la motricidad [8]. Por ejemplo, en un estudio se propuso el uso de cámaras infrarrojas para analizar movimientos del brazo [8]. En el estudio participaron 15 niños con autismo y 15 niños neurotípicos. Todos los participantes tenían que tomar una pelota y moverla a diferentes cajas. Se calcularon 17 características relacionadas con medidas cinemáticas. Este estudio presentó una precisión del 96.7% al discriminar entre niños neurotípicos y niños con autismo.

Estos trabajos han mostrado una alta precisión al clasificar niños con TEA. Sin embargo, los dispositivos propuestos podrían ser difíciles de usar por la calibración que necesitan y en algunos casos puede ser complicado instrumentar a los niños.

Por lo que otras investigaciones han propuesto el uso de superficies interactivas para evaluar voz [14] y motricidad [4,5,11,33]. En un estudio [4] donde se utilizó una tableta y donde participaron 37 niños con autismo y 45 niños neurotípicos quienes jugaron 2 videojuegos comerciales en un iPad durante 5 minutos cada uno. Se calcularon 262 características relacionadas con valores cinemáticos y basadas en toques. Para analizar los datos se usaron 4 algoritmos de clasificación. La precisión que se obtuvo fue de 93% al identificar patrones motores de niños con autismo. Estos trabajos han mostrado que las interacciones de los niños con la tecnología pueden ser usadas para identificar marcadores del TEA.

Hasta el momento la mayoría de los trabajos se ha centrado en analizar datos relacionados a la voz, la mirada y la motricidad. Sin embargo existen otras áreas que son importantes en el desarrollo de los niños y que tienen el potencial de ser marcadores del TEA, como es el procesamiento sensorial. Hasta nuestro conocimiento solo existe un trabajo que ha explorado la evaluación del procesamiento táctil utilizando un robot cinético [19]. Sin embargo, aunque se ha mostrado que los niños con TEA procesan de manera diferente las vibraciones [27], poco se ha explorado sobre si las interfaces hápticas que existen en la actualidad pueden ser usadas para evaluar el procesamiento táctil.

### 3 Objetivo de la Investigación

El objetivo de esta investigación es identificar marcadores digitales mediante interfaces hápticas y evaluar su desempeño en el cribado del TEA. Como preguntas de investigación se tienen las siguientes:

¿Cómo debe ser el diseño de un juego que utiliza vibraciones como retroalimentación háptica para evaluar el procesamiento táctil?

¿Qué diferencias existen en los gestos de niños con TEA y niños neurotípicos cuando reciben vibraciones como retroalimentación háptica?

### 4 Metodología

La metodología para esta investigación está dividida en tres fases que se explican a continuación:

**Fase 1.** El objetivo de esta fase es obtener un mejor entendimiento del cribado del TEA y los marcadores digitales. Se realizará una revisión bibliográfica para entender las características que hay alrededor de la identificación de marcadores digitales del TEA, así como los algoritmos y dispositivos más utilizados. También se realizará un inventario de los marcadores digitales del

TEA que se han explorado hasta el momento. Adicionalmente se estudiará la literatura relacionada con el cribado del TEA

**Fase 2.** El objetivo de esta fase es obtener el diseño y prototipo de las actividades que se utilizarán para la recopilación de datos, así como el diseño del estudio. Esta fase se compone de 2 sub-fases:

**Diseño e implementación.** En esta etapa se realizará el diseño y la implementación de las actividades que se utilizarán para la recolección de datos. Se realizarán sesiones de diseño participativo, para seleccionar el tipo de actividad, y los estímulos visuales y/o auditivos necesarios. Posteriormente se implementarán las actividades

**Diseño del estudio:** Esta sub-fase implica las actividades para llevar a cabo la evaluación y análisis de cada caso de estudio. Durante esta sub-fase se definirán los criterios de inclusión para seleccionar a los participantes. Se iniciará el contacto con las posibles instituciones donde se reclutarán a los participantes. Además, se definirán los instrumentos que se utilizarán para evaluar el desarrollo de los niños (e.g., pruebas psicomotoras, psicolingüísticas), el tipo de datos que se guardarán, y los controles que se deberán tener durante el estudio.

**Fase 3.** Esta fase incluye la campaña de recolección de datos y el análisis de los datos.

Los participantes realizan las actividades de la fase anterior y se aplicarán los instrumentos correspondientes. Después se prepararán los datos para su posterior análisis. Primero se limpiarán los datos para eliminar valores atípicos y valores erróneos, se definirán umbrales para la inclusión y exclusión de datos [6,16,31]. Posteriormente se realizará la extracción de características de los datos recolectados para crear una biblioteca de datos que será usada para entrenar y probar modelos de aprendizaje de máquina. Además se realizará una exploración de los datos para entender cuáles son las características que distinguen a los niños con TEA y se utilizarán técnicas de aprendizaje de máquina para evaluar y analizar los datos [1].

## 5 Feel and Touch

Como resultado de la fase 2, surgió *Feel and touch*, un juego que narra la historia de una araña que tiene hambre, pero su telaraña fue destruida y debe reconstruirla para poder comer. *Feel and touch* este compuesto de tres niveles:

**Construye la telaraña.** Para esta actividad seleccionamos el gesto *tap* y lo asociamos con el patrón *vibro táctil plano*, el cual se caracteriza por mantener la misma intensidad a lo largo del tiempo, pero su ritmo puede cambiar (Tabla 1).




En esta actividad el niño debe ayudar a la araña a construir su telaraña, para lograrlo debe seguir el ritmo de una vibración plana haciendo *taps*. Cuando hace un *tap*, la araña se mueve del centro hacia la ubicación donde el niño hizo un *tap* y dibuja una línea de la telaraña. Este nivel tiene tres niveles, cada uno utiliza un ritmo diferente: lento, medio, rápido.

**Alimenta a la araña.** Para esta actividad seleccionamos el gesto *arrastrar* y lo asociamos con el patrón *vibro táctil rampa* (Tabla 1). La rampa se distingue porque la intensidad aumenta o disminuye dependiendo de si es ascendente o descendente.

En esta actividad el niño debe ayudar a la araña a encontrar a los bichos para alimentarse, para lograrlo el niño debe arrastrar una de las patitas de la araña mientras sienta la vibración en rampa, para que la araña sienta la vibración y sepa en qué dirección moverse. Cuando suelta la patita de la araña, la araña se mueve en busca del bicho que cayó y se alimenta. Esta actividad tiene 3 niveles, cada nivel utiliza un tipo de rampa diferente: ascendente, descendente, mixta.

**Bailando con la telaraña.** Esta es una actividad libre donde el niño puede explorar las vibraciones que se generan cuando hace un tap o un gesto de deslizar. Si realiza taps, sentirá una vibración plana y si desliza sentirá una vibración en rampa.

**Tabla 1. La tabla muestra la asociación entre los gestos y el patron vibro táctil.**

Gesto	Inicio del gesto	Trayectoria	Fin del gesto	Patrón vibro táctil
Tap 	Vibración con intensidad pre-establecida	Sin trayectoria	Sin vibración	Plano 
Arrastrar 	Vibración con intensidad pre-establecida	La intensidad de la vibración aumenta/disminuye de acuerdo a la dirección angular del gesto.	Maxima/minima intensidad de la vibración	Rampa 

## 6 Diseño campaña de sensado

A continuación, se describe el diseño de la campaña de sensado, las características de los participantes que se reclutaran, la colección de datos el procedimiento y el análisis de datos.

### 6.1 Participantes

Se reclutarán al menos 20 niños neurotípicos, 20 niños con TEA y 20 niños con Trastorno Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) de entre 3 y 6 años de edad y de ambos géneros.

## 7 Colección de datos

### 7.1 Pre-evaluación

Antes de iniciar la recolección de datos, los niños neurotípicos serán evaluados utilizando: (1) Perfil Sensorial Corto, el cual consta de 34 ítems y evalúa el procesamiento sensorial y conductual. (2) Prueba de evaluación del desarrollo infantil (EDI), la cual consta de 24 ítems y evalúa las áreas de motricidad fina y gruesa, lenguaje, social y comunicación.

### 7.2 Evaluación

Durante la evaluación los datos de los gestos que los niños realicen con la interfaz háptica se registraran cada milisegundo, desde el inicio del gesto hasta el final del gesto. Cada registro corresponde a la ubicación de un gesto en un tiempo t. Para cada gesto se registrará la ubicación, fuerza, tiempo de reacción, tiempo y el tipo de gesto.

## 8 Análisis de los datos

Después de obtener los datos, se iniciará la sub-fase de preparación de datos, se utilizarán scripts en Python para poder completar estas tareas.

### 8.1 Exploración de datos

Como parte de la exploración de datos, se realizará la selección de características más relevantes, se realizarán pruebas estadísticas y se realizara una visualización de los datos.

### 8.2 Tareas de clasificación

Para este estudio, proponemos tres tareas de clasificación:

1. Distinguir entre niños con TEA y niños neurotípicos.

2. Distinguir niños con TEA de niños con Trastorno del déficit de atención e hiperactividad (TDAH).
3. Distinguir niños con TEA de niños neurotípicos y niños con TDAH.

## 9 Conclusiones y trabajo futuro

Este trabajo propone el uso de interfaces hápticas para evaluar el procesamiento táctil e identificar marcadores del TEA que puedan ser usados como herramienta de apoyo en el cribado del TEA. Para completar el proceso de diseño, se propone como trabajo futuro (1) Realizar un estudio formativo sobre el uso de Feat para investigar si las actividades y el diseño son adecuados (2) Realizar la campaña de sensado y evaluar el impacto de Feel and Touch como herramienta de apoyo en el cribado de TEA.

## 10 Referencias

- [1] Consoli, S., ... Wuyts, R. (2019). Data Science in Healthcare: Benefits, Challenges and Opportunities. In Data Science for Healthcare (pp. 3–38). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-05249-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-05249-2_1)
- [2] Fahd Albinali, Matthew S. Goodwin, and Stephen S. Intille. 2009. Recognizing stereotypical motor movements in the laboratory and classroom. Ubicomp '09. ACM Press, New York, New York, USA
- [3] American Psychiatric Association. 2013. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders(5th ed.). Washington, DC.
- [4] Anna Anzulewicz, Krzysztof Sobota, and Jonathan T Delafield-butt. 2016. Toward the Autism Motor Signature : Gesture patterns during smart tabletgameplay identify children with autism. Nature Publishing Group August (2016), 1–13.
- [5] Laura Boccanfuso, Erin Barney, Claire Foster, Yeojin Amy Ahn, Katarzyna Chawarska, Brian Scassellati, and Frederick Shic. 2016. Emotional Robot to Examine Different Play Patterns and Affective Responses of Children with and without ASD.(2016)
- [6] Liangliang Cao, Mert Dikmen, Yun Fu, and Thomas S. Huang. 2008. Gender recognition from body. In Proceeding of the 16th ACM international conference on Multimedia
- [7] Gwénaél Changeon, Delphine Graeff, Margarita Anastassova, and José Lozada. 2012. Tactile Emotions: A Vibrotactile Tactile Gamepad for Transmitting Emotional Messages to Children with Autism. In Lecture Notes in Computer Science Vol. 7282 LNCS. 79–90. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-31401-8\\_{ }8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-31401-8_{ }8)
- [8] Alessandro Crippa, Christian Salvatore, Paolo Perego, Sara Forti, Maria Nobile, Massimo Molteni, and Isabella Castiglioni. 2015. Use of Machine Learning to Identify Children with Autism and Their Motor Abnormalities. Journal of Autism and Developmental Disorders(2015). <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2379-8>
- [9] Geraldine Dawson. 2008. Early behavioral intervention, brain plasticity, and the prevention of autism spectrum disorder. Development and Psychopathology 20, 3 (7 2008), 775–803. <https://doi.org/10.1017/S0954579408000370>
- [10] Dongxin Xu, J. Gilkerson, J. Richards, U. Yapanel, and S. Gray. 2009. Child vocalization composition as discriminant

- information for automatic autism detection. *IEEE*, 2518–2522. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2009.5334846>
- [11] Francesca D. Faraci, Michela Papandrea, Alessandro Puiatti, Stefania Agustoni, Sara Giuliani, Vincenzo DrApuzzo, Silvia Giordano, Flavio Righi, Olmo Barberis, Evelyne Thommen, and Emmanuelle Rossini. 2018. AutoPlay: a smart toys-kit for an objective analysis of children ludic behavior and development. *IEEE*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/MeMeA.2018.8438636>
- [12] Jie Gao, Leijing Zhou, Miaomiao Dong, and Fan Zhang. 2018. Expressive Plant. *UbiComp '18*. ACM Press, New York, New York, USA, 46–49. <https://doi.org/10.1145/3267305.3267588>
- [13] N. Goncalves, J. L. Rodrigues, S. Costa, and F. Soares. 2012. Preliminary study on determining stereotypical motor movements. In *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE, 1598–1601. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2012.6346250>
- [14] Yuan Gong, Hasini Yatawatte, Christian Poellabauer, Sandra Schneider, and Susan Latham. 2018. Automatic Autism Spectrum Disorder Detection Using Everyday Vocalizations Captured by Smart Devices. *BCB '18*. ACM Press, New York, New York, USA, 465–473. <https://doi.org/10.1145/3233547.3233574>
- [15] Matthew S. Goodwin, Stephen S. Intille, Wayne F. Velicer, and June Groden. 2008. Sensor-enabled detection of stereotypical motor movements in persons with autism spectrum disorder. *IDC '08*. ACM Press, New York, New York, USA, 109. <https://doi.org/10.1145/1463689.1463733>
- [16] Jennifer L. Hicks, Tim Althoff, Rok Sosic, Peter Kuhar, Bojan Bostjancic, Abby C. King, Jure Leskovec, and Scott L. Delp. 2019. Best practices for analyzing large-scale health data from wearables and smartphone apps. *npj Digital Medicine* 2, 1 (12 2019). <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0121-1>
- [17] Sophie Jullien. 2021. Screening for autistic spectrum disorder in early childhood. *BMC Pediatrics* 2021 21:121, 1 (9 2021), 1–9. <https://doi.org/10.1186/S12887-021-02700-54>
- [18] Stephen M. Kanne, Laura Arnstein Carpenter, and Zachary Warren. 2018. Screening in toddlers and preschoolers at risk for autism spectrum disorder: Evaluating a novel mobile-health screening tool. *Autism Research* 11, 7 (7 2018), 1038–1049. <https://doi.org/10.1002/aur.1959>
- [19] Ankit Koirala, Amy Van Hecke, Zhiwei Yu, Kathleen A. Koth, Hillary Schiltz, Zhi Zheng, and Hillary Schiltz. 2019. An exploration of using virtual reality to assess the sensory abnormalities in children with autism spectrum disorder. *IDC 2019* (2019), 293–300. <https://doi.org/10.1145/3311927.3323118>
- [20] Ernst Kruijff, Saugata Biswas, Christina Trepkowski, Jens Maiero, George Ghinea, and Wolfgang Stuerzlinger. 2019. Multilayer haptic feedback for pen-based tablet interaction. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings Chi* (2019), 1–14. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300373>
- [21] Karon E. MacLean. 2000. Designing with haptic feedback. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation* 1, April (2000), 783–787. <https://doi.org/10.1109/robot.2000.844146>
- [22] Athar Mahmoudi-Nejad, Hadi Moradi, and Hamid-Reza Pourtemad. 2017. The Differences Between Children with Autism and Typically Developed Children in Using a Hand-Eye-Coordination Video Game. *Springer, Cham*, 256–264. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67585-5\\_127](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67585-5_127)
- [23] Sven Meister, Wolfgang Deiters, and Stefan Becker. 2016. Digital health and digital biomarkers – enabling value chains on health data. *Current Directions in Biomedical Engineering* 2, 1 (1 2016), 577–581. <https://doi.org/10.1515/cdbme-2016-0128>
- [24] Elaheh Moradi, Antonietta Pepe, Christian Gaser, Heikki Huttunen, and Jussi Tohka. 2015. Machine learning framework for early MRI-based Alzheimer’s conversion prediction in MCI subjects. *NeuroImage* 104 (1 2015), 398–412. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.10.002>
- [25] Tamami Nakano, Kyoko Tanaka, Yuuki Endo, Yui Yamane, Takahiro Yamamoto, Yoshiaki Nakano, Haruhisa Ohta, Nobumasa Kato, and Shigeru Kitazawa. 2010. Atypical gaze patterns in children and adults with autism spectrum disorders dissociated from developmental changes in gaze behaviour. *Proceedings. Biological sciences* 277, 1696 (10 2010), 2935–43. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.0587>
- [26] R Palluel-Germain, F Bara, A Hillairet De Boisferon, B Hennion, P Gouagout, and E Gentaz. 2007. A Visuo-Haptic Device-Telemaque-Increases Kindergarten Children’s Handwriting Acquisition. *Technical Report* 1.
- [27] Nicolaas A. J. Puts, Ericka L. Wodka, Mark Tommerdahl, Stewart H. Mostofsky, and Richard A. E. Edden. 2014. Impaired tactile processing in children with autism spectrum disorder. *Journal of Neurophysiology* 111, 9 (5 2014), 1803–1811. <https://doi.org/10.1152/jn.00890.2013>
- [28] Nastaran Mohammadian Rad and Cesare Furlanello. 2017. Applying Deep Learning to Stereotypical Motor Movement Detection in Autism Spectrum Disorders. *ICDMW* (2017), 1235–1242. <https://doi.org/10.1109/ICDMW.2016.0178>
- [29] José Luis Rodríguez, Ramiro Velázquez, Carolina Del-Valle-soto, Sebastián Gutiérrez, Jorge Varona, and Josué Enríquez-Zarate. 2019. Active and passive haptic perception of shape: Passive haptics can support navigation. *Electronics (Switzerland)* 8, 3 (2019), 1–12. <https://doi.org/10.3390/electronics8030355>
- [30] Joao F. Santos, Nirit Brosh, Tiago H. Falk, Lonnie Zwaigenbaum, Susan E. Bryson, Wendy Roberts, Isabel M. Smith, Peter Szatmari, and Jessica A. Brian. 2013. Very early detection of Autism Spectrum Disorders based on acoustic analysis of pre-verbal vocalizations of 18-month old toddlers. *IEEE*, 7567–7571. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2013.6639134>
- [31] Katrina J. Serrano, Kisha I. Coa, Mandi Yu, Dana L. Wolff-Hughes, and Audie A. Atienza. 2017. Characterizing user engagement with health app data: a data mining approach. *Translational Behavioral Medicine* 7, 2 (6 2017), 277–285. <https://doi.org/10.1007/s13142-017-0508-y>
- [32] Marco Turi, David Charles Burr, and Paola Binda. 2018. Pupillometry reveals perceptual differences that are tightly

- linked to autistic traits in typical adults. *eLife* 7 (3 2018), e32399. <https://doi.org/10.7554/eLife.32399>
- [33] Adel Al-Jumaily Wedyan, Mohammad. 2016. Upper Limb Motor Coordination based Early Diagnosis in High Risk Subjects for Autism. (2016). <https://doi.org/10.1109/SSCI.2016.7849893>
- [34] T. Westeyn, K. Vadas, Xuehai Bian, T. Starner, and G.D. Abowd. 2005. Recognizing Mimicked Autistic Self-Stimulatory Behaviors Using HMMs. In *Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'05)*. IEEE, 164–169. <https://doi.org/10.1109/ISWC.2005.45>
- [35] Dongxin Xu, Jeffrey A. Richards, Jill Gilkerson, Umit Yapanel, Sharmistha Gray, and John Hansen. 2009. Automatic childhood autism detection by vocalization decomposition with phone-like units. *WOCCI '09*. ACM Press, New York, New York, USA, 1–7. <https://doi.org/10.1145/1640377.1640382>
- [36] Victoria Yaneva. 2018. Detecting Autism Based on Eye-Tracking Data from Web Searching Tasks. *di* (2018).
- [37] Nesra Yannier, Ali Israr, Jill Fain Lehman, and Roberta L. Klatzky. 2015. Feel sleeve: Haptic Feedback to enhance early reading. *Conference on Human Factors in Computing Systems* - <https://doi.org/10.1145/2702123.27023965>.



© 2021 by the authors. This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.