

مقدمه مشترک

تاریخچه‌ی روش

را ثبت کند. با توجه به این که پتانسیل عمل بسیار سریع و کوتاه است و همچنین، باید با سرعت ثابت در آکسون حرکت کند، به نظر می‌رسد الکترودهایی که روی پوست سر قرار می‌گیرند به‌سادگی نمی‌توانند آن‌ها را تشخیص دهند.

مثبت یا منفی بودن بار خارج از دندریت در سطح خارجی سلول هر می به دو عامل بستگی دارد؛ نخست آن که آیا محرکی بازدارنده یا تحریکی از آکسون سلول دیگر به محل اتصال سیناپسی آمده است و دوم این که آیا آن سیناپس در پروکسیمال یا دیستال بدنه‌ی سلولی قرار دارد؟ به عنوان مثال، اگر محرکی تحریکی در نزدیکی انتهای دیستال دندریت (نزدیک سطح قشر) وارد شود، تغییر در نفوذپذیری غشا منجر به ورود Na^+ به داخل سلول و منفی شدن فضای خارج سلولی می‌شود (چون سلول هر می مانند یک باتری عمل می‌کند، فضای خارج سلولی در انتهای پروگزیمال دندریت مثبت خواهد بود). به این ترتیب، اگر اتفاق مشابهی روی سر برای تعداد زیادی از سلول‌های هر می بیافتد، الکتروود EEG، یک پتانسیل خارج سلولی منفی را ثبت می‌کند. بنابراین EEG نشان‌دهنده‌ی مجموع جبری پتانسیل‌های پس‌سیناپسی تحریکی و مهارتی است [۵].

پتانسیل‌های مغز مرتبط با رویداد (ERP)^۱

ضبط EEG در تحقیقات و تنظیمات بالینی طی چندین دهه استفاده‌ی زیادی داشت (شکل ۱). با این حال، مطالعه‌ی فرایندهای شناختی خاص با استفاده از این روش دشوار است؛ زیرا استفاده از ضبط مداوم و خام برای بررسی فعالیت عصبی خاص به عنوان تابعی از فرایندهای شناختی خاص، اگر نگوئیم غیرممکن، بسیار دشوار است. پتانسیل‌های مغزی مرتبط با رویداد، بخش‌های کوچکی از ضبط مداوم EEG هستند که در پاسخ به محرک‌ها (مانند مشاهده‌ی تصاویر یا کلمات روی صفحه‌ی رایانه یا در این مطالعه ارتباط با میدان شعوری فرادرمانی)، برانگیخته می‌شوند [۶].

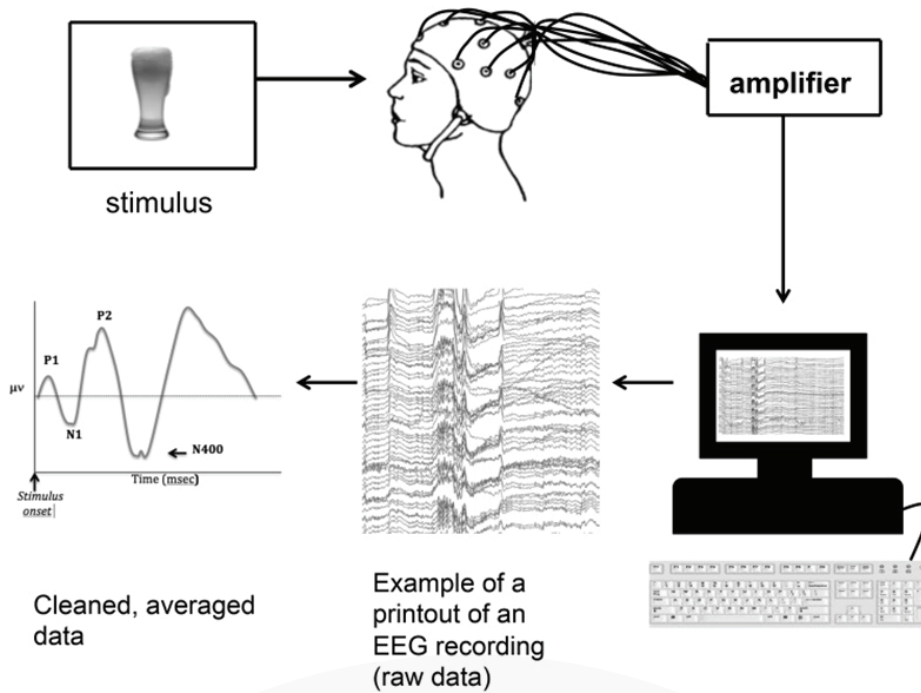
ERP ها در طیف وسیعی از آزمایش‌های روان‌شناختی استفاده می‌شوند که هدف آن‌ها بررسی جنبه‌های گوناگون فرایندهای شناختی، مانند درک و تولید زبان، حافظه، توجه و بسیاری موارد دیگر است. ERP ها به دلیل دامنه‌ی بسیار کمی که دارند معمولاً در ضبط EEG خام دیده نمی‌شوند. بنابراین، باید با ایجاد میانگین دوره‌های ضبط^۲، از ضبط پیوسته جدا شوند [۷].

الکتروانسفالوگرافی (EEG) از زمانی در حدود ۱۴۰ سال پیش که پزشک انگلیسی‌ای به نام ریچارد کاتون آن را کشف کرده، راه طولانی‌ای را پیموده است. او در سال ۱۸۷۵ نخستین نوار مغزی را از مغز میمون‌ها و خرگوش‌ها به دست آورد. تقریباً پنجاه سال بعد، در سال ۱۹۲۴، هانس برگر با استفاده از تجهیزات ساده‌ی رادیویی به منظور تقویت فعالیت الکتریکی مغز، اولین ضبط EEG را روی پوست سر انسان انجام داد و خروجی نوشتاری‌ای روی کاغذ به دست آورد. او ادعا کرد فعالیت مغزی که از طریق استفاده از EEG مشاهده می‌شود، می‌تواند زمانی که وضعیت بیمار تغییر می‌کند، مانند رفتن از حالت آرامش به هوشیاری، خواب، کمبود اکسیژن، به شیوه‌ای ثابت، قابل اعتماد و قابل تشخیص تغییر کند. این پیشرفت منجر به تحقیقات سال‌های بعد و کاربردهای متنوع استفاده از EEG امروزه شد [۱].

ساختار و عملکرد مغز در ارتباط با داده‌ی EEG

مغز انسان به‌طور متوسط حدود ۸۶ میلیارد نورون دارد که ارتباط میان آن‌ها فعالیت کلیدی و اصلی مغز است. نورون‌ها سلول‌های تحریک‌پذیر با خواص الکتریکی ذاتی هستند و فعالیت آن‌ها منجر به ایجاد میدان‌های مغناطیسی و همچنین میدان‌های الکتریکی می‌شود که سپس با استفاده از الکترودهای ویژه می‌توان آن‌ها را ثبت کرد [۲]. دو نوع اصلی فعالیت عصبی وجود دارد: «پتانسیل عمل» و «پتانسیل پس‌سیناپسی». پتانسیل‌های عمل، نتیجه‌ی دپلاریزاسیون بسیار سریع یک نورون است که به‌طور عمده با تغییرات در نفوذپذیری غشا به یون‌های سدیم و پتاسیم انجام می‌شود. این اتفاق زمانی رخ می‌دهد که سلول به میزان معینی، از پتانسیل حالت استراحت منفی خود، دپلاریزه می‌شود. پس از رسیدن به این آستانه، شلیک سریع پتانسیل عمل (حدود یک میلی‌ثانیه) از ابتدای آکسون در جسم سلولی نورون تا پایانه‌های آکسون رخ می‌دهد [۳].

از سوی دیگر، پتانسیل‌های پس‌سیناپسی نشان‌دهنده‌ی تغییر بار الکتریکی در خارج از غشا هستند و این تغییر در فضای خارج سلولی تا ۲۰۰ میلی‌ثانیه طول می‌کشد. بار الکتریکی خارج سلولی، مثبت یا منفی، چیزی است که با الکترودهایی که روی پوست سر قرار می‌گیرند اندازه‌گیری می‌شود. سلول‌های هر می مانند باتری‌های کوچکی هستند که قطبیت دارند؛ اگر یک انتهای دندریت مثبت باشد، سر دیگر آن منفی است [۴]. واسطه‌گری پتانسیل‌های پس‌سیناپسی را تعدادی از سیستم‌های انتقال‌دهنده‌ی عصبی انجام می‌دهند و در نتیجه‌ی فعال‌سازی سیناپسی، عموماً تغییرات آهسته‌تری در پتانسیل‌های غشایی ایجاد می‌کنند. آن‌ها ولتاژهایی هستند که زمانی تولید می‌شوند که انتقال‌دهنده‌های عصبی به گیرنده‌های غشای سلول پس‌سیناپسی متصل می‌شوند و باعث باز یا بسته‌شدن کانال‌های یونی می‌شوند. به‌طور قابل اطمینانی می‌توان ادعا کرد EEG فقط می‌تواند پتانسیل‌های پس‌سیناپسی

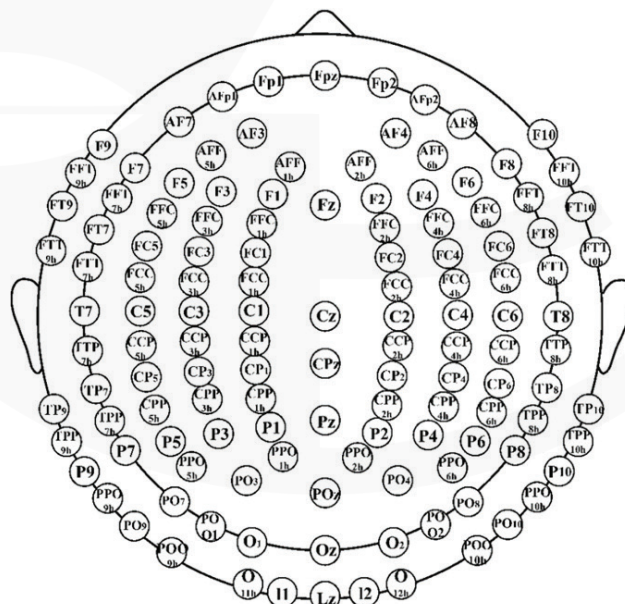


شکل ۱- در یک آزمایش، تعدادی الکتروود، معمولاً ۳۲، ۶۴ یا ۱۲۸، روی سر شرکت‌کننده قرار می‌گیرد که امکان اندازه‌گیری فعالیت الکتریکی مغز را در سطح (پوست سر) فراهم می‌کند.

شده، لغو نمی‌شود و بنابراین، معنایی دارد و در خروجی قابل مشاهده است. خروجی‌ای که به دست می‌آید شبیه موجی با تعدادی پیک مثبت و منفی است. این پیک‌ها به عنوان «مولفه‌ها» شناخته می‌شوند و با توجه به قطبیت‌شان برچسب‌گذاری می‌شوند؛ P نشان‌دهنده‌ی مثبت، N نشان‌دهنده‌ی منفی و تاخیر تقریبی آن‌ها در میلی‌ثانیه است (امواج منفی با فعال‌سازی مرتبط هستند، در حالی که امواج مثبت با مهار). در هر حوزه‌ی مطالعه‌ی مولفه‌ای مربوط به آن مبتنی بر مطالعات و آزمون‌های موجود به دست می‌آیند [۹]. نام و شماره‌ی الکتروودهای مورد استفاده در مطالعات این شماره در جدول ۱ ذکر شده است. شکل ۳ ست‌آپ کسب داده‌ی EEG در پژوهش‌های این شماره را نشان می‌دهد.

محرك باعث برانگیختگی پاسخی در مغز می‌شود که به‌طور مداوم در رایانه ضبط می‌شود. سپس این ضبط به‌طور میانگین محاسبه می‌شود و ERP های منفرد استخراج می‌شوند. سیگنال EEG با ثبت فعالیت الکتریکی، که مغز با استفاده از الکتروودهای تنظیم‌شده در مکان‌های مختلف روی پوست سر، آن را تولید می‌کند (شکل ۲)، به دست می‌آید؛ در واقع تفاوت پتانسیل الکتریکی بین دو محل (که محل فعال و محل مرجع نامیده می‌شوند) در طول زمان اندازه‌گیری می‌شود [۸].

نکته‌ی مهم در استخراج و تجزیه و تحلیل اجزای ERP از داده‌های پیوسته در پژوهش، به دست آوردن میانگین فعالیت در تست‌های مکرر با شرایط ثابت است. فقط فعالیت‌هایی که مکرر است و با زمان تکرار



جدول ۱. نام و شماره‌ی الکترودهای مورد استفاده در مطالعات این شماره؛ مقادیر آمده ترکیبی از سیستم‌های مختصات دکارتی (X, Y, Z) ، کروی (sph) تا، sph فی، sph شعاع) است. X, Y, Z : مختصات دکارتی سه‌بعدی استاندارد را نشان می‌دهند که موقعیت یک نقطه را در فضا با استفاده از محورهای افقی (X) ، عمودی (Y) و عمق (Z) تعریف می‌کنند. sph تا: مشابه تا در مختصات قطبی، نشان دهنده زاویه در صفحه xy است که از محور X مثبت اندازه‌گیری می‌شود. sph فی: نشان دهنده زاویه از محور Z مثبت تا نقطه مدنظر است. sph شعاع: نشان دهنده فاصله از مبدا $(0,0,0)$ تا نقطه مدنظر است.

Number	Labels	theta	radius	X	Y	Z	sph_theta	sph_phi	sph_radius
1	FP1	-18.1	0.5	0.95	0.31	0	18.1	0	0.999
2	FPz	0	0.5	1	0	0	0	0	1
3	FP2	18.1	0.5	0.95	-0.31	0	-18.1	0	0.999
4	AF7	-36.1	0.5	0.81	0.59	0	36.1	0	1
5	AF3	-28.1	0.426	0.86	0.46	0.23	28.1	13.3	1
6	AF4	28.1	0.426	0.86	-0.46	0.23	-28.1	13.3	1
7	AF8	36.1	0.5	0.81	-0.59	0	-36.1	0	1
8	F9	-59.7	0.577	0.49	0.84	-0.24	59.7	-13.9	1
9	F7	-53.9	0.5	0.59	0.81	0	53.9	0	1
10	F5	-46.7	0.426	0.67	0.71	0.23	46.7	13.3	1
11	F3	-39.2	0.356	0.7	0.57	0.44	39.2	26	1
12	F1	-22.1	0.295	0.74	0.3	0.6	22.1	36.9	0.999
13	Fz	0	0.25	0.71	0	0.71	0	45	1
14	F2	22.1	0.295	0.74	-0.3	0.6	-22.1	36.9	0.999
15	F4	39.2	0.356	0.7	-0.57	0.44	-39.2	26	1
16	F6	46.7	0.426	0.67	-0.71	0.23	-46.7	13.3	1
17	F8	53.9	0.5	0.59	-0.81	0	-53.9	0	1
18	F10	59.7	0.577	0.49	-0.84	-0.24	-59.7	-13.9	1
19	FT7	-71.9	0.5	0.31	0.95	0	71.9	0	0.999
20	FC5	-67.8	0.394	0.36	0.88	0.33	67.8	19.1	1.01
21	FC3	-61.2	0.288	0.38	0.69	0.62	61.2	38.2	1
22	FC1	-42.1	0.187	0.41	0.37	0.83	42.1	56.4	0.997
23	FCz	0	0.125	0.38	0	0.92	0	67.6	0.995
24	FC2	42.1	0.187	0.41	-0.37	0.83	-42.1	56.4	0.997
25	FC4	61.2	0.288	0.38	-0.69	0.62	-61.2	38.2	1
26	FC6	67.8	0.394	0.36	-0.88	0.33	-67.8	19.1	1.01
27	FT8	71.9	0.5	0.31	-0.95	0	-71.9	0	0.999
28	T7	-90	0.5	6.12E-17	1	0	90	0	1
29	C5	-90	0.375	5.63E-17	0.92	0.38	90	22.4	0.995
30	C3	-90	0.25	4.35E-17	0.71	0.71	90	45	1
31	C1	-90	0.125	2.33E-17	0.38	0.92	90	67.6	0.995
32	Cz	0	0	6.12E-17	0	1	0	90	1
33	C2	90	0.125	2.33E-17	-0.38	0.92	-90	67.6	0.995
34	C4	90	0.25	4.35E-17	-0.71	0.71	-90	45	1
35	C6	90	0.375	5.63E-17	-0.92	0.38	-90	22.4	0.995
36	T8	90	0.5	6.12E-17	-1	0	-90	0	1
37	TP7	-108	0.5	-0.31	0.95	0	108	0	0.999
38	CP5	-112	0.394	-0.36	0.88	0.33	112	19.1	1.01
39	CP3	-119	0.288	-0.38	0.69	0.62	119	38.2	1
40	CP1	-138	0.187	-0.41	0.37	0.83	138	56.4	0.997
41	CPz	180	0.125	-0.38	-4.65E-17	0.92	-180	67.6	0.995
42	CP2	138	0.187	-0.41	-0.37	0.83	-138	56.4	0.997
43	CP4	119	0.288	-0.38	-0.69	0.62	-119	38.2	1
44	CP6	112	0.394	-0.36	-0.88	0.33	-112	19.1	1.01
45	TP8	108	0.5	-0.31	-0.95	0	-108	0	0.999
46	P7	-126	0.5	-0.59	0.81	0	126	0	1

47	P5	-133	0.426	-0.67	0.71	0.23	133	13.3	1
48	P3	-141	0.356	-0.7	0.57	0.44	141	26	1
49	P1	-158	0.295	-0.74	0.3	0.6	158	36.9	0.999
50	Pz	180	0.25	-0.71	-8.69E-17	0.71	-180	45	1
51	P2	158	0.295	-0.74	-0.3	0.6	-158	36.9	0.999
52	P4	141	0.356	-0.7	-0.57	0.44	-141	26	1
53	P6	133	0.426	-0.67	-0.71	0.23	-133	13.3	1
54	P8	126	0.5	-0.59	-0.81	0	-126	0	1
55	PO7	-144	0.5	-0.81	0.59	0	144	0	1
56	PO3	-152	0.426	-0.86	0.46	0.23	152	13.3	1
57	POz	180	0.375	-0.92	-1.13E-16	0.38	-180	22.4	0.995
58	PO4	152	0.426	-0.86	-0.46	0.23	-152	13.3	1
59	PO8	144	0.5	-0.81	-0.59	0	-144	0	1
60	O1	-162	0.5	-0.95	0.31	0	162	0	0.999
61	Oz	180	0.5	-1	-1.22E-16	0	-180	0	1
62	O2	162	0.5	-0.95	-0.31	0	-162	0	0.999
63	AFp5	-27.3	0.475	0.89	0.46	0.08	27.3	4.57	1.01
64	AFp1	-11.7	0.449	0.97	0.2	0.16	11.7	9.18	1
65	AFp2	11.7	0.449	0.97	-0.2	0.16	-11.7	9.18	1
66	AFp6	27.3	0.475	0.89	-0.46	0.08	-27.3	4.57	1.01
67	AFF7h	-41.3	0.462	0.75	0.66	0.12	41.3	6.85	1.01
68	AFF5h	-37.5	0.426	0.77	0.59	0.23	37.5	13.3	0.997
69	AFF3h	-25.4	0.362	0.82	0.39	0.42	25.4	24.8	1
70	AFF1h	-13.4	0.333	0.84	0.2	0.5	13.4	30.1	0.998
71	AFF2h	13.4	0.333	0.84	-0.2	0.5	-13.4	30.1	0.998
72	AFF4h	25.4	0.362	0.82	-0.39	0.42	-25.4	24.8	1
73	AFF6h	37.5	0.426	0.77	-0.59	0.23	-37.5	13.3	0.997
74	AFF8h	41.3	0.462	0.75	-0.66	0.12	-41.3	6.85	1.01
75	FFT9h	-65	0.545	0.42	0.9	-0.14	65	-8.02	1
76	FFT7h	-60.3	0.455	0.49	0.86	0.14	60.3	8.05	1
77	FFC5h	-53.5	0.362	0.54	0.73	0.42	53.5	24.8	1
78	FFC3h	-40.8	0.278	0.58	0.5	0.64	40.8	39.9	0.998
79	FFC1h	-16.3	0.208	0.58	0.17	0.79	16.3	52.6	0.995
80	FFC2h	16.3	0.208	0.58	-0.17	0.79	-16.3	52.6	0.995
81	FFC4h	40.8	0.278	0.58	-0.5	0.64	-40.8	39.9	0.998
82	FFC6h	53.5	0.362	0.54	-0.73	0.42	-53.5	24.8	1
83	FFT8h	60.3	0.455	0.49	-0.86	0.14	-60.3	8.05	1
84	FFT10h	65	0.545	0.42	-0.9	-0.14	-65	-8.02	1
85	FTT7h	-80.1	0.442	0.17	0.97	0.18	80.1	10.4	1
86	FCC5h	-77.1	0.323	0.19	0.83	0.53	77.1	31.9	1
87	FCC3h	-69.4	0.204	0.21	0.56	0.8	69.4	53.2	0.999
88	FCC1h	-43.6	0.0934	0.21	0.2	0.96	43.6	73.2	1
89	FCC2h	43.6	0.0934	0.21	-0.2	0.96	-43.6	73.2	1
90	FCC4h	69.4	0.204	0.21	-0.56	0.8	-69.4	53.2	0.999
91	FCC6h	77.1	0.323	0.19	-0.83	0.53	-77.1	31.9	1
92	FTT8h	80.1	0.442	0.17	-0.97	0.18	-80.1	10.4	1
93	TTP7h	-99.9	0.442	-0.17	0.97	0.18	99.9	10.4	1
94	CCP5h	-103	0.323	-0.19	0.83	0.53	103	31.9	1
95	CCP3h	-111	0.204	-0.21	0.56	0.8	111	53.2	0.999
96	CCP1h	-136	0.0934	-0.21	0.2	0.96	136	73.2	1
97	CCP2h	136	0.0934	-0.21	-0.2	0.96	-136	73.2	1
98	CCP4h	111	0.204	-0.21	-0.56	0.8	-111	53.2	0.999

99	CCP6h	103	0.323	-0.19	-0.83	0.53	-103	31.9	1
100	TTP8h	99.9	0.442	-0.17	-0.97	0.18	-99.9	10.4	1
101	TPP7h	-120	0.455	-0.49	0.86	0.14	120	8.05	1
102	CPP5h	-126	0.362	-0.54	0.73	0.42	126	24.8	1
103	CPP3h	-139	0.278	-0.58	0.5	0.64	139	39.9	0.998
104	CPP1h	-164	0.208	-0.58	0.17	0.79	164	52.6	0.995
105	CPP2h	164	0.208	-0.58	-0.17	0.79	-164	52.6	0.995
106	CPP4h	139	0.278	-0.58	-0.5	0.64	-139	39.9	0.998
107	CPP6h	126	0.362	-0.54	-0.73	0.42	-126	24.8	1
108	TTP8h	120	0.455	-0.49	-0.86	0.14	-120	8.05	1
109	PPO9h	-133	0.554	-0.68	0.72	-0.17	133	-9.74	1
110	PPO7h	-139	0.462	-0.75	0.66	0.12	139	6.85	1.01
111	PPO5h	-143	0.426	-0.77	0.59	0.23	143	13.3	0.997
112	PPO3h	-150	0.358	-0.78	0.45	0.43	150	25.5	0.998
113	PPO1h	-167	0.333	-0.84	0.2	0.5	167	30.1	0.998
114	PPO2h	167	0.333	-0.84	-0.2	0.5	-167	30.1	0.998
115	PPO4h	150	0.358	-0.78	-0.45	0.43	-150	25.5	0.998
116	PPO6h	143	0.426	-0.77	-0.59	0.23	-143	13.3	0.997
117	PPO8h	139	0.462	-0.75	-0.66	0.12	-139	6.85	1.01
118	PPO10h	133	0.554	-0.68	-0.72	-0.17	-133	-9.74	1
119	POO5	-153	0.475	-0.89	0.46	0.08	153	4.57	1.01
120	POO1	-168	0.449	-0.97	0.2	0.16	168	9.18	1
121	POO2	168	0.449	-0.97	-0.2	0.16	-168	9.18	1
122	POO6	153	0.475	-0.89	-0.46	0.08	-153	4.57	1.01
123	POO9h	-153	0.571	-0.87	0.44	-0.22	153	-12.7	0.999
124	OI1h	-171	0.567	-0.97	0.15	-0.21	171	-12.1	1
125	OI2h	171	0.567	-0.97	-0.15	-0.21	-171	-12.1	1
126	POO10h	153	0.571	-0.87	-0.44	-0.22	-153	-12.7	0.999



شکل ۳- ست آپ کسب داده‌ی EEG در پژوهش‌های این شماره

1. Müller-Putz, G. R. (2020). Electroencephalography. *Handbook of clinical neurology*, 168, 249–262. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63934-9.00018-4>
2. Kramarenko, A. V., & Tan, U. (2003). Effects of high-frequency electromagnetic fields on human EEG: a brain mapping study. *The International journal of neuroscience*, 113(7), 1007–1019. <https://doi.org/10.1080/00207450390220330>
3. Chen, I., Lui, F. Neuroanatomy, Neuron Action Potential. [Updated 2023 Aug 14]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK546639/>
4. Grider, M. H., Jessu, R., & Kabir, R. (2023). Physiology, Action Potential. In StatPearls. StatPearls Publishing.
5. Kress, G. J., & Mennerick, S. (2009). Action potential initiation and propagation: upstream influences on neurotransmission. *Neuroscience*, 158(1), 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2008.03.021>
6. Ogrim, G., & Kropotov, J. D. (2020). Event Related Potentials (ERPs) and other EEG Based Methods for Extracting Biomarkers of Brain Dysfunction: Examples from Pediatric Attention Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD). *Journal of visualized experiments : JoVE*, (157), 10.3791/60710. <https://doi.org/10.3791/60710>
7. Al-Ezzi, A., Kamel, N., Faye, I., & Gunaseli, E. (2020). Review of EEG, ERP, and Brain Connectivity Estimators as Predictive Biomarkers of Social Anxiety Disorder. *Frontiers in psychology*, 11, 730. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00730>
8. Light, G. A., Williams, L. E., Minow, F., Sprock, J., Rissling, A., Sharp, R., Swerdlow, N. R., & Braff, D. L. (2010). Electroencephalography (EEG) and event-related potentials (ERPs) with human participants. *Current protocols in neuroscience*, Chapter 6, Unit–6.25.24. <https://doi.org/10.1002/0471142301.ns0625s2>
9. Woodman, G. F. (2010). A brief introduction to the use of event-related potentials in studies of perception and attention. *Attention, perception & psychophysics*, 72(8), 2031–2046. <https://doi.org/10.3758/APP.72.8.2031>