Wskaźniki informatyki afektywnej pozyskiwane z urządzeń mobilnych

Definicje operacyjne, jakość pomiaru, korelaty psychopatologiczne i warunki walidacji

01 listopada 2026 | Wersja 1.0.0 | Krytyczny przegląd narracyjny i propozycja specyfikacji pomiarowej

Streszczenie

Celem raportu jest integracja materiałów opisujących wskaźniki cyfrowego fenotypowania emocji i zachowania na podstawie pomiarów smartfonowych oraz, opcjonalnie, urządzeń noszonych. Materiały obejmują aktywność psychomotoryczną, rytm dobowy, sen, mobilność, kontakty społeczne, korzystanie ze smartfona, fizjologię, metadane systemowe i wskaźniki złożone. W rozszerzonym materiale przedstawiono ponadto hipotetyczne związki części tych zmiennych z depresją, manią, lękiem, niestabilnością afektywną, anhedonią, zaburzeniami snu i stresem przewlekłym. Niniejsza synteza porządkuje ten katalog i wyraźnie oddziela pomiar behawioralny od wnioskowania klinicznego.

Przeprowadzono audyt definicji i wzorów. Zidentyfikowano m.in. niejednoznaczność normalizacji aktywności do czasu, nieprawidłową definicję stabilności międzydobowej, brak współczynników normalizacyjnych zmienności śródobowej, jednowymiarowy zapis promienia przemieszczania, niejednorodne jednostki EDA oraz dwie nazwy tego samego wskaźnika używania telefonu w nocy. Złożone indeksy DBI, MAI i AII nie mają w źródłach określonych wag ani walidacji klinicznej; należy je traktować jako propozycje badawcze. Dane smartfonowe mogą ujawniać zmiany wewnątrzosobnicze, lecz nie stanowią samodzielnych testów diagnostycznych. Krytyczne są kontrola braków danych, identyfikacja noszenia urządzenia, porównanie z pomiarami referencyjnymi, walidacja u niezależnych uczestników oraz ochrona prywatności.

Słowa kluczowe: informatyka afektywna; digital phenotyping; smartphone sensing; digital biomarkers; aktigrafia; psychometria; jakość danych; walidacja kliniczna.

1. Cel, źródła i charakter syntezy

Przedmiotem raportu są wskaźniki tworzone z biernie pozyskiwanych metadanych i sygnałów z telefonu lub kompatybilnego urządzenia noszonego. Stanowią one operacjonalizacje aktywności fizycznej i cyfrowej, wzorców przemieszczania, dynamiki dobowej oraz niektórych korelatów pobudzenia autonomicznego. Nie są bezpośrednimi pomiarami emocji, zamiaru, diagnozy ani kontaktu społecznego w pełnym znaczeniu psychologicznym.

2. Założenia pomiaru i poziomy interpretacji

2.1. Cztery poziomy wnioskowania

Poziom	Przykład	Zakres uzasadnionego wniosku
1. Sygnał	Akceleracja, GPS, znacznik odblokowania, interwały międzyuderzeniowe	Urządzenie zarejestrowało dane techniczne.
2. Cecha	AVI, entropia lokalizacji, NUR, RMSSD	Parametr opisuje określony aspekt obserwowanego sygnału.

Poziom	Przykład	Zakres uzasadnionego wniosku
3. Korelat	Spadek LE równolegle ze wzrostem nasilenia objawów	Zależność statystyczna wymagająca kontroli konfuzji i replikacji.
4. Zastosowanie kliniczne	Prognoza pogorszenia po walidacji zewnętrznej	Wymaga określenia użyteczności, kalibracji, progów i konsekwencji klinicznych.

Różnice międzyosobnicze wynikają nie tylko ze stanu psychicznego, lecz także z pracy zmianowej, wieku, ograniczeń ruchowych, podróży, pory roku, obowiązków opiekuńczych i sposobu noszenia telefonu. Preferowane są modele longitudinalne oraz odchylenia od indywidualnego poziomu odniesienia, zamiast uniwersalnych progów wyliczonych na heterogenicznej próbie [3, 6, 7].

2.2. Minimalne dane towarzyszące

Każdy pomiar powinien zawierać identyfikator uczestnika pseudonimizowany, znacznik czasu UTC wraz ze strefą lokalną, źródło i wersję systemu, jednostkę i częstotliwość próbkowania, informację o prawach dostępu, procent pokrycia okna oraz flagi jakości. Wynik nieobliczalny należy kodować jako brak danych, a nie jako zero.

3. Katalog wskaźników i definicje operacyjne

Poniższe zestawienie zachowuje numerację 1–29 ze źródeł. Zapisy w kolumnie „proponowana definicja" są doprecyzowaną specyfikacją badawczą, a nie deklaracją, że oryginalne metody zostały klinicznie zwalidowane. Wartości graniczne, parametry okien i algorytmy zdarzeń wymagają wstępnej rejestracji w protokole.

I. Aktywność psychomotoryczna

Kod / cecha	Definicja operacyjna / jednostka	Dane oraz kluczowe ograniczenie
01 · AL Activity Level	średnia czasowa $\|a_dyn(t)\|$; przy próbkowaniu równym $(1/N)\Sigma\|a_dyn,i\|$. Jedn.: m/s^2.	IMU, kalibracja grawitacji; telefon musi być noszony.
02 · AVI Activity Variability Index	$Var(\|a_dyn,i\|)$ w oknie, jedn. $(m/s^2)^2$.	Zależny od umiejscowienia urządzenia i filtracji.
03 · AF Activity Fragmentation	liczba zmian aktywny↔nieaktywny / h, przy wcześniej ustalonym progu i wygładzaniu.	Wymaga klasyfikatora aktywności i okresów noszenia.
04 · ID Inactivity Duration	średnia długość epizodu nieaktywności w min.	Brak ruchu telefonu ≠ bezruch człowieka.

II. Rytm dobowy

Kod / cecha	Definicja operacyjna / jednostka	Dane oraz kluczowe ograniczenie
05 · CRI Circadian Regularity Index	korelacja profilu aktywności z profilem przesuniętym o 24 h, przy wyrównanej siatce czasu.	Długi zapis; nie interpolować automatycznie długich luk.
06 · IS Interdaily Stability	$(n/p)\cdot\Sigma_h(\bar{x}_h-\bar{x})^2 / \Sigma_i(x_i-\bar{x})^2$. Bezwymiarowy.	Standaryzowany wariant analizy nieparametrycznej; wymaga pełnych dni.

Kod / cecha	Definicja operacyjna / jednostka	Dane oraz kluczowe ograniczenie
07 · IV Intradaily Variability	$[n/(n-1)]\cdot\Sigma_i(x_i-x_{i-1})^2 / \Sigma_i(x_i-\bar{x})^2$. Bezwymiarowy.	Mierzy fragmentację, wrażliwy na luki i rozdzielczość epok.

III. Sen i nocne korzystanie z telefonu

Kod / cecha	Definicja operacyjna / jednostka	Dane oraz kluczowe ograniczenie
08 · SD Sleep Duration	różnica czasu końca i początku snu, w h; tylko gdy oba zdarzenia są zwalidowane.	Telefon daje wskaźnik pośredni; sensowniej użyć aktigrafii.
09 · SOL Sleep Onset Latency	czas od podjęcia próby zaśnięcia do rzeczywistego początku snu, w min.	Czas od ostatniego użycia telefonu to odrębny wskaźnik zastępczy.
10 · WASO Wake After Sleep Onset	suma czasu czuwania po zaśnięciu, w min.	Ekran on/off samodzielnie nie pozwala wiarygodnie ustalić wybudzeń.
11 · NPU Nocturnal Phone Usage	czas użycia w zdefiniowanym oknie nocnym / całkowity czas użycia; 0–1.	To samo operacyjnie co NUR (poz. 21) w dokumentach źródłowych.

IV. Mobilność

Kod / cecha	Definicja operacyjna / jednostka	Dane oraz kluczowe ograniczenie
12 · LE Location Entropy	$-\Sigma_j p_j \ln(p_j)$, p_j = udział czasu w klastrze j.	Wymaga jawnej metody klasteryzacji i agregacji lokalizacji.
13 · RoG Radius of Gyration	$\sqrt{[\Sigma_i w_i \|\|r_i-\bar{r}\|\|^2/\Sigma_i w_i]}$, w metrach.	Płaszczyzna 2D, transformacja współrzędnych, wagi czasowe.
14 · HSR Home Stay Ratio	czas w klastrze domu / czas z rozpoznaną lokalizacją, 0–1.	Identyfikacja domu silnie wrażliwa prywatnościowo.

V. Interakcje rejestrowane cyfrowo

Kod / cecha	Definicja operacyjna / jednostka	Dane oraz kluczowe ograniczenie
15 · SIF Social Interaction Frequency	liczba połączeń/SMS na dzień lub godzinę (metryka i kanał jawnie określone).	Rejestr dotyczy kontaktów telefonicznych, nie całego życia społecznego.
16 · OR Outgoing Ratio	n_wychodzących/(n_przychodzących+n_wychodzących), 0–1.	Gdy mianownik=0 wynik jest nieokreślony.
17 · RL Response Latency	mediana albo średni czas od dostarczenia do odpowiedzi, w min.	Wymaga parowania zdarzeń, ograniczenia obserwacji i dostępu do API.

VI. Korzystanie z urządzenia

Kod / cecha	Definicja operacyjna / jednostka	Dane oraz kluczowe ograniczenie
18 · ST Screen Time	Σ czasu aktywnego ekranu w min/dobę.	Włączony ekran nie gwarantuje aktywnego korzystania.
19 · UF Unlock Frequency	liczba zdarzeń odblokowania / dobę.	Niektóre systemy ograniczają rejestrację.

Kod / cecha	Definicja operacyjna / jednostka	Dane oraz kluczowe ograniczenie
20 · ASR App Switching Rate	liczba zmian aplikacji pierwszoplanowej / h użycia.	Wymaga wiarygodnych zdarzeń aplikacji, często uprawnień specjalnych.
21 · NUR Night Usage Ratio	według plików: usage_night/usage_total, jak NPU.	Alias poz. 11: nie traktować jako niezależnej cechy w modelu.

VII. Fizjologia (urządzenia noszone)

Kod / cecha	Definicja operacyjna / jednostka	Dane oraz kluczowe ograniczenie
22 · HRV Heart Rate Variability (RMSSD)	$\sqrt{[(1/(M-1))\Sigma_{i=1}^{M-1}(NN_{i+1}-NN_i)^2]}$, ms.	Jakość interwałów NN, artefakty, ruch; PPG mierzy odstępy tętna.
23 · EDA Electrodermal Activity	osobno: poziom tonic SCL (µS) i częstość/amplituda reakcji SCR.	Nie sumować średniej amplitudy i liczby reakcji bez normalizacji.

VIII. Metadane systemowe

Kod / cecha	Definicja operacyjna / jednostka	Dane oraz kluczowe ograniczenie
24 · CRI_c Charging Regularity Index	proponowana miara rozproszenia pór ładowania w cyklu dobowym.	Brak konkretnej formuły w źródłach; konieczna definicja a priori.
25 · BDR Battery Depletion Rate	−Δpoziomu naładowania / Δt w %/h, tylko bez ładowania.	Zależny od wieku baterii, sieci i obciążenia; nie jest miarą nastroju.
26 · NRT Notification Response Time	czas od powiadomienia do zdefiniowanej interakcji, w s/min.	Uprawnienia do powiadomień; brak reakcji to cenzurowanie, nie zero.

IX. Proponowane indeksy złożone

Kod / cecha	Definicja operacyjna / jednostka	Dane oraz kluczowe ograniczenie
27 · DBI Depressive Behavior Index	Źródło: w_1/AVI+w_2/LE+w_3/SIF+w_4/HRV; proponowane: model z cechami z-normalizowanymi.	Brak wag, definicji punktu odcięcia i walidacji; odwrotności niestabilne przy 0.
28 · MAI Mania Activation Index	Źródło: w_1·AVI+w_2·LE+w_3·SIF+w_4·ASR−w_5·SD.	Wagi nieokreślone; konieczna walidacja i kontrola niejednorodnych skal.
29 · AII Affective Instability Index	Źródło: Σ_k Var(feature_k); proponowane: wariancja standaryzowanych cech w czasie.	Nieustalony zakres czasowy i brak oceny zmienności pomiarowej.

4. Audyt poprawności matematycznej i redundancji

Zagadnienie	Zapis źródłowy / problem	Stan po syntezie

Zagadnienie	Zapis źródłowy / problem	Stan po syntezie
AL	(1/T)·Σ|a_t| bez kroku czasowego: zależność od próbkowania	Średnia po próbkach albo całka czasowa (1/T)∑|a_i|Δt; korekta przyspieszenia grawitacyjnego.
IS	„wariancja międzydniowa / wariancja całkowita" nie jest klasycznym IS	Proporcja wariancji średniego profilu pór dnia do całkowitej wariancji [9].
IV	Pominięto czynnik zależny od liczby epok	Przyjęto wariant n/(n−1) oraz zdefiniowano dokładnie siatkę epok [9].
RoG	Jednowymiarowe $(x_i−x_c)^2$ pomija drugą oś	Odległość euklidesowa 2D i wagi czasu pobytu w jednostkach metrycznych.
RMSSD	W mianowniku zapisano N mimo N−1 kolejnych różnic	Jednoznaczne M interwałów i M−1 różnic NN; kontrola artefaktów.
EDA	Średnia amplituda + liczba reakcji sumuje różne jednostki	Osobno komponent toniczny i fazowy; brak arbitralnego dodawania.
NPU / NUR	Dwie identyczne definicje	29 pozycji katalogowych, lecz 28 odrębnych definicji wskaźników.
DBI / MAI / AII	Nieustalone wagi; możliwe dzielenie przez zero; nieporównywalne skale	Hipotezy kompozytów, bez statusu zwalidowanych skal klinicznych.
Sen	Brak korzystania z telefonu utożsamiono ze snem	Rozdzielono pasywność telefonu od snu; ocena wobec aktigrafii/PSG.

5. Powiązania z funkcjonowaniem psychicznym: interpretacja literatury

Rozszerzony plik S3 przyporządkowuje zmiany kierunkowe wskaźników do siedmiu obszarów. Przedstawiają one hipotezy o fenotypach cyfrowych, a nie specyficzne sygnatury jednostek diagnostycznych. Dla części korelacji istnieją badania obserwacyjne; ich kierunek może odwracać się zależnie od próby, fazy choroby i technologii [1–8].

Obszar w S3	Wzorce postulowane w materiale źródłowym	Ograniczenie interpretacji
Depresja	AVI↓, LE↓, HSR↑, SIF↓, RL↑, SD↓/↑, HRV↓	Korelaty aktywności i mobilności; zachowania związane z telefonem bywają niejednoznaczne.
Mania / hipomania	AVI↑, LE↑, RoG↑, SIF↑, OR↑, ASR↑, SD↓↓, NUR↑	Duża zależność od wieku, pracy, trybu życia i sposobu pomiaru snu.
Zaburzenia lękowe	IV↑, WASO↑, NPU↑, EDA↑, HRV↓, UF↑	Reaktywność autonomiczna jest mało swoista; wymagana kontrola aktywności.
Niestabilność afektywna	AII↑, zmienność AVI, SIF i SD	Brak wystandaryzowanej definicji AII; źródło wymienia też niezdefiniowane VI/CPF.
Anhedonia / wycofanie	ST↓, SIF↓, LE↓; w S3 dodatkowo ACU	Wskaźnik ACU nie jest zdefiniowany w katalogu; nie przypisywano mu równania.
Zaburzenia snu	SD↓/↑, SOL↑, WASO↑, NUR↑	Parametry snu z telefonu są pośrednie i wymagają metody referencyjnej.
Stres przewlekły	HRV↓, EDA↑, NPU↑, IV↑	Zależności nie są specyficzne i silnie zależą od kontekstu oraz jakości czujników.

Przykładowo Saeb i współautorzy odnotowali zależności pomiędzy cechami GPS a nasileniem objawów depresyjnych, lecz badanie z 2015 r. obejmowało jedynie 28 osób z dostatecznymi danymi. Replikacja z 2016 r. obejmowała 48 studentów, a istotne korelacje między m.in. entropią lokalizacji a PHQ-9 pozostawały zależnościami obserwacyjnymi [1, 2]. W chorobie afektywnej dwubiegunowej Faurholt-Jepsen i wsp. opisali relacje między aktywnością komunikacyjną a oceną kliniczną, ale zależności nie odpowiadają prostym, uniwersalnym regułom „więcej kontaktów = mania" [4, 5].

6. Wiarygodność pomiaru i zarządzanie brakami danych

6.1. Rozróżnienie braku obserwacji i wartości zerowej

Brak próbki akcelerometru, luka GPS, wyłączony telefon, zakaz dostępu do danych lub zdjęcie urządzenia są odrębnymi mechanizmami braków, często zależnymi od zachowania badanego. Zalecane miary QC: procent pokrycia czasu, maksymalna ciągła luka, liczba dni użytecznych, udział próbek o niskiej jakości, dzienny czas noszenia oraz obecność wymaganych uprawnień. Wykazano, że niższe pokrycie GPS i akcelerometru może prowadzić do zniekształcenia cech behawioralnych [8].

6.2. Synchronizacja i źródło pomiaru

Rozdzielić czas urządzenia (UTC), czas lokalny, zmiany strefy i przestawienia zegara. Zapisywać rodzaj czujnika i pochodzenie danych. Akcelerometr telefonu mierzy jego własny ruch; ruch ręki z zegarkiem także nie musi odpowiadać lokomocji całego ciała. PPG i EDA są dostępne tylko wtedy, gdy konkretny wearable posiada odpowiedni sensor i udostępnia dane; nie należy zakładać ich obecności w typowym smartfonie.

6.3. Plan kontroli jakości

Minimalny pipeline: (i) pobranie i pseudonimizacja, (ii) sprawdzenie uprawnień i pokrycia, (iii) odfiltrowanie artefaktów, (iv) segmentacja przy wspólnych regułach okien, (v) ekstrakcja cech z jednostkami, (vi) normalizacja względem własnej linii bazowej, (vii) estymacja niepewności, (viii) walidacja modelu. Należy przechowywać także metadane dotyczące wersji algorytmu i parametrów filtrowania.

7. Modelowanie statystyczne i walidacja kliniczna

7.1. Zmienność wewnątrz- i międzyosobnicza

Dla cechy x_{it} zalecane jest oddzielne raportowanie średniej wewnątrzosobniczej μ_i oraz odchylenia $x_{it}-\mu_i$, wyliczanych z okresu odniesienia ustalonego przed analizą. Nie wolno definiować baseline za pomocą późniejszych danych z okresu testowego (przeciek informacji). Należy rozważyć model mieszany z losowym wyrazem wolnym, czasem jako zmienną i efektami dnia tygodnia oraz pory roku.

7.2. Punkt odniesienia i kryterium zewnętrzne

Dane referencyjne powinny odpowiadać celowi badania: natężenie objawów depresyjnych (np. PHQ-9), manii (np. YMRS), zmienność objawów w EMA, sen w aktigrafii/polisomnografii, aktywność w zwalidowanej aktigrafii. Testować zgodność między narzędziami, a nie przypisywać „prawdziwego nastroju" z samego sensora. Etykiety uzyskane w tym samym oknie co cechy powinny być odróżnione od prawdziwego prognozowania przyszłego zdarzenia.

7.3. Projekt oceny modeli

Podział treningowy, walidacyjny i testowy musi być rozdzielony na poziomie osoby, jeśli celem jest uogólnianie do nowych uczestników. W monitorowaniu jednej osoby wymagane są chronologiczne podziały i ocena przesunięcia rozkładów. Należy ocenić kalibrację, AUROC/AUPRC wraz z bazową częstością zdarzeń, czułość i swoistość przy określonych progach, błędy, predykcję względem modelu naiwnego, a także niesprawiedliwe różnice między

grupami. Przejrzystość raportowania wspierają TRIPOD+AI, a ryzyko błędu i zastosowalność można oceniać narzędziem PROBAST+AI [10, 11].

8. Etyka, prywatność i wykonalność techniczna

GPS i identyfikacja miejsca zamieszkania, logi rozmów oraz znaczniki reakcji na powiadomienia mogą ujawniać zachowania i relacje osób trzecich. Zbierać wyłącznie niezbędne sygnały, preferować lokalne wyliczanie cech i usuwanie surowych współrzędnych po agregacji, stosować szyfrowanie, pseudonimizację, role dostępu i ograniczony czas retencji. W projekcie należy ustalić właściwą podstawę prawną przetwarzania, ocenić potrzebę DPIA i szczególnie chronić potencjalnie wrażliwe dane o zdrowiu. Zgoda udziału w badaniu i podstawa prawna przetwarzania danych nie są pojęciami automatycznie tożsamymi.

Samo istnienie wskaźnika w katalogu nie oznacza możliwości jego pozyskania ze współczesnego systemu mobilnego. Dostęp do GPS w tle, logów SMS i połączeń, powiadomień lub czasu użycia aplikacji zależy od wersji OS, uprawnień, polityk dystrybucji aplikacji i decyzji użytkownika. Dla każdego strumienia trzeba wykonać test wykonalności dla docelowego urządzenia oraz udokumentować brak możliwości obserwacji, zamiast zastępować ją nieoznaczoną imputacją.

9. Proponowany protokół badania pilotażowego

Etap	Minimalne działania	Kryterium wyjścia
0. Definicja	Hipotezy dla 3–5 priorytetowych wskaźników; słownik danych i konkretne okna.	Wstępnie zarejestrowane cechy, wagi i reguły braków.
1. Feasibility	Różne modele telefonu/wersje OS, rejestrowanie zdarzeń i obciążenia baterii.	Raport faktycznej dostępności strumieni i kompletności.
2. Rzetelność	Powtarzalność, zgodność pomiaru ruchu i snu z metodą referencyjną.	Oszacowane błędy i granice wykrywalności zmian.
3. Trafność	EMA i skale kliniczne; modelowanie zmian wewnątrz osoby.	Efekty z przedziałami ufności, testy odporności i analiza braków.
4. Predykcja	Niezależna próba, predykcja przyszłego wyniku, porównanie z baseline.	Zewnętrzna walidacja i analiza kalibracji.
5. Wdrożenie	Procedury kontroli dostępu, informacji zwrotnej i reakcji na błędy.	Akceptowalność użytkownika i ocena potencjalnych szkód.

10. Wnioski

Katalog 29 pozycji dostarcza użytecznej podstawy do budowy systemu longitudinalnego monitorowania zachowania. Jednocześnie tylko 28 pozycji ma odrębne definicje operacyjne: NPU i NUR są tożsame. Część oryginalnych równań jest szkicowa lub niepoprawnie znormalizowana. W badaniu naukowym należy wykorzystać doprecyzowane wzory oraz jawny słownik metadanych, zachowując informację o dokonanych zmianach.

Najbardziej bezpośrednio obserwowalne są aktywność urządzenia, mobilność oraz harmonogram korzystania z telefonu. Sen, interakcje społeczne, pobudzenie autonomiczne i stan emocjonalny wymagają znacznie ostrożniejszego wnioskowania. Wskaźniki nie pozwalają niezależnie rozpoznać depresji, manii, lęku czy stresu, a proponowane DBI/MAI/AII nie mogą być użyte jako skale kliniczne bez walidacji. Rozwój projektu należy ukierunkować na jakość danych, rzetelność, walidację niezależną od uczestników i ochronę prywatności [3, 6–11].

Bibliografia naukowa i źródła metodyczne

[1] Saeb S, Zhang M, Karr CJ, et al. Mobile Phone Sensor Correlates of Depressive Symptom Severity in Daily-Life Behavior: An Exploratory Study. Journal of Medical Internet Research. 2015;17(7):e175. doi:10.2196/jmir.4273.

[2] Saeb S, Lattie EG, Schueller SM, Kording KP, Mohr DC. The relationship between mobile phone location sensor data and depressive symptom severity. PeerJ. 2016;4:e2537. doi:10.7717/peerj.2537.

[3] Wang R, Chen F, Chen Z, et al. StudentLife: Assessing Mental Health, Academic Performance and Behavioral Trends of College Students Using Smartphones. UbiComp 2014. doi:10.1145/2632048.2632054.

[4] Faurholt-Jepsen M, Vinberg M, Frost M, et al. Smartphone data as an electronic biomarker of illness activity in bipolar disorder. Bipolar Disorders. 2015;17(7):715–728. doi:10.1111/bdi.12332.

[5] Grünerbl A, Muaremi A, Osmani V, et al. Smartphone-based recognition of states and state changes in bipolar disorder patients. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. 2015;19(1):140–148. doi:10.1109/JBHI.2014.2343154.

[6] Leaning IE, Ikani N, Savage HS, et al. From smartphone data to clinically relevant predictions: A systematic review of digital phenotyping methods in depression. Neuroscience & Biobehavioral Reviews. 2024;158:105541. doi:10.1016/j.neubiorev.2024.105541.

[7] Linardon J, Chen K, Gajjar S, et al. Smartphone digital phenotyping in mental health disorders: A review of raw sensors utilized, machine learning processing pipelines, and derived behavioral features. Psychiatry Research. 2025;348:116483. doi:10.1016/j.psychres.2025.116483.

[8] Currey D, Torous J. Increasing the value of digital phenotyping through reducing missingness: a retrospective review and analysis of prior studies. BMJ Mental Health. 2023;26:e300718. doi:10.1136/bmjment-2023-300718.

[9] Van Someren EJW, Swaab DF, Colenda CC, et al. Bright light therapy: improved sensitivity to its effects on rest–activity rhythms in Alzheimer patients by application of nonparametric methods. Chronobiology International. 1999;16(4):505–518. doi:10.3109/07420529908998724.

[10] Collins GS, Moons KGM, Dhiman P, et al. TRIPOD+AI statement: updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine learning methods. BMJ. 2024;385:e078378. doi:10.1136/bmj-2023-078378.

[11] Moons KGM, Damen JAA, Kaul T, et al. PROBAST+AI: an updated quality, risk of bias, and applicability assessment tool for prediction models using regression or artificial intelligence methods. BMJ. 2025;388:e082505. doi:10.1136/bmj-2024-082505.