

## Development of innovative training solutions in the field of functional evaluation aimed at updating of the curricula of health sciences schools



### MODUŁ BIOMECHANIKA:

#### PODSTAWY BIOMECHANIKI STOSOWANEJ W ODNIESIENIU DO UKŁADU RUCHOWEGO

Moduł dydaktyczny E: Metody instrumentalnej analizy parametrów fizjologicznych antropometrycznych i morfometrycznych.

E.2. Jakie są zastosowania analizy sygnałów i wskaźników fizjologicznych człowieka?



## Index

1. CELE MODUŁU	2
2. JAKIE SĄ ZASTOSOWANIA WYBRANYCH, NAJCZĘŚCIEJ REJESTROWANYCH SYGNAŁÓW BIO-FIZJOLOGICZNYCH??	3
Interpretacja cech cyklu EKG w detekcji stanów patologicznych układu sercowo-naczyniowego.....	3
Sygnał ZMIENNOŚCI RYTMU PRACY SERCA (HRV) jako wynik analizy sygnału elektrokardiograficznego (EKG) lub fali pulsu z rejestracji fotopletyzmograficznych (PPG).....	4
Typowe zastosowania analizy badan elektrokardiograficznych .....	5
Zastosowania analizy rejestracja sygnału elektromiograficznego (EMG) .....	7
Typowe zastosowania wyników analizy konduktacji skóry EDA (odpowiedź skórno-galwaniczna).....	8
3. APLIKACJE BIODENSYTORÓW POŁĄCZONYCH W WIELOKANAŁOWE I WIELOMODALNE SIECI BIODENSYTORCZNE (BSN – BODY SENSOR NETWORKS). JAK MOGĄ ONE MIERZYĆ I DOSTARCZAĆ DO SIECI GLOBALNEJ I CHMUR OBLICZENIOWYCH DANE REJESTROWANE Z POWIERZCHNI CIAŁA PACJENTA W CELU DALSZEGO PRZETWARZANIA I WNIOSKOWANIA?	10
Assessment of Mental Workload with Psychophysiological measures.....	11
Detekcja stresu przy zastosowaniu złożonych sieci sensorycznych. ....	11
4. KLUCZOWE IDEE	13
5. LITERATURA	14

## 1. Cele modułu

---

- Poznać wybrane obszary zastosowań pomiarów sygnałów i parametrów fizjologicznych człowieka.
- Poznać i zrozumieć ideę zilustrowaną na kilku przykładach ekstrakcji cech i dalszej wiedzy z mierzonych surowych danych biomedycznych.
- Zdobyć umiejętności wykorzystania nabytej wiedzy w ekstrakcji wybranych parametrów z zarejestrowanych sygnałów fizjologicznych.

## 2. Jakie są zastosowania wybranych, najczęściej rejestrowanych sygnałów bio-fizjologicznych??

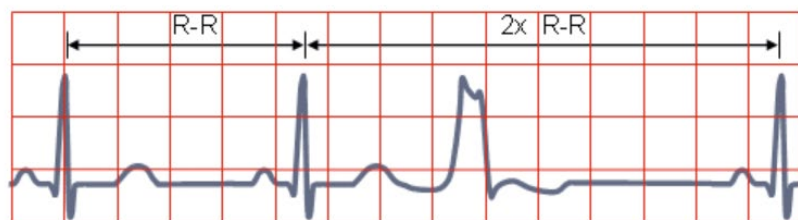
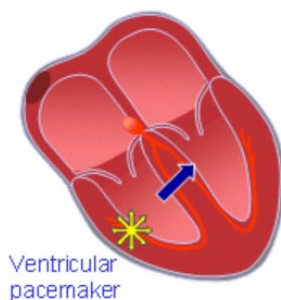
Sygnal EKG służy do opisu parametrów mechanicznej i elektrycznej funkcji serca. Ustandaryzowane parametry cyklu EKG zarówno załamki jak i fale odzwierciedlają stan serca i jego układu sterowania..

### Interpretacja cech cyklu EKG w detekcji stanów patologicznych układu sercowo-naczyniowego

Kształt porównany z wzorcami i inne cechy elektrokardiogramu odzwierciedlają zestaw typowych patologii układu sercowo-naczyniowego, w tym np.:

#### PREMATURE VENTRICULAR CONTRACTION

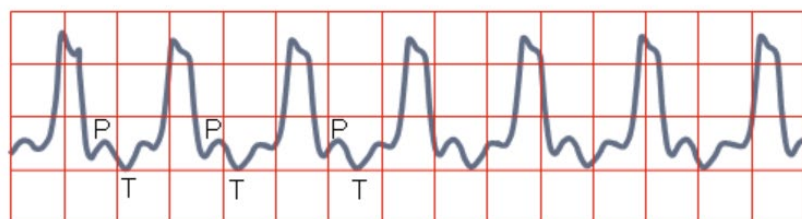
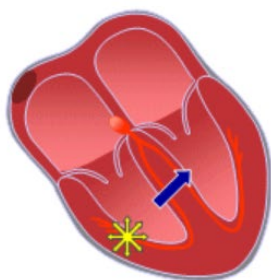
A single impulse originates at right ventricle



Time interval between normal R peaks is a multiple of R-R interval

#### VENTRICULAR TACHYCARDIA

Impulses originate at ventricular pacemaker



Wide ventricular complexes. Rate > 120/min

## Sygnal ZMIENNOŚCI RYTMU PRACY SERCA (HRV) jako wynik analizy sygnału elektrokardiograficznego (EKG) lub fali pulsu z rejestracji fotopletyzmoграфicznych (PPG).

Częstość akcji serca (HR – heart rate) to liczba uderzeń serca na minutę [bpm] obliczana na podstawie odstępu czasowego pomiędzy kolejnymi skurczami lewej komory serca R-R (pik R w zapisie EKG).

$$HR [bpm] = 60/(R-R\_interval [s])$$

Zmienność rytmu serca (HRV) jest fluktuacją odstępów czasowych pomiędzy sąsiednimi uderzeniami serca. HRV jest wskaźnikiem funkcji neurokardiologicznych i jest generowana przez interakcje serce-mózg oraz dynamiczne, nieliniowe procesy autonomicznego układu nerwowego (ANS). HRV jest wynikiem współzależnych systemów regulacyjnych, które działają w różnych skalach czasowych, aby pomóc nam w adaptacji do wyzwań środowiskowych i psychologicznych. HRV odzwierciedla regulację równowagi autonomicznej, ciśnienia krwi (BP), wymiany gazowej, jelit, serca, tonusu naczyniowego, który odnosi się do średnicy naczyń krwionośnych regulujących BP i ewentualnie mięśni twarzy.

Sygnal EKG stanowi bazę do wyznaczania **zmienności rytmu pracy serca (HRV)**, która obrazuje wpływ autonomicznego układu nerwowego (ANS) na modulację rytmu pracy serca.

Częstość akcji serca (uderzenia na minutę [bpm]) i siła skurczu serca są modyfikowane (modulowane) przez współczulne i przywspółczulne części autonomicznego układu nerwowego, stąd matematyczna analiza sygnału zmienności rytmu serca (HRV) należąca do obszaru przetwarzania sygnałów biomedycznych pozwala ocenić stan i ewentualne patologie wspomnianych układu współczulnego i przywspółczulnego w sposób nieinwazyjny.

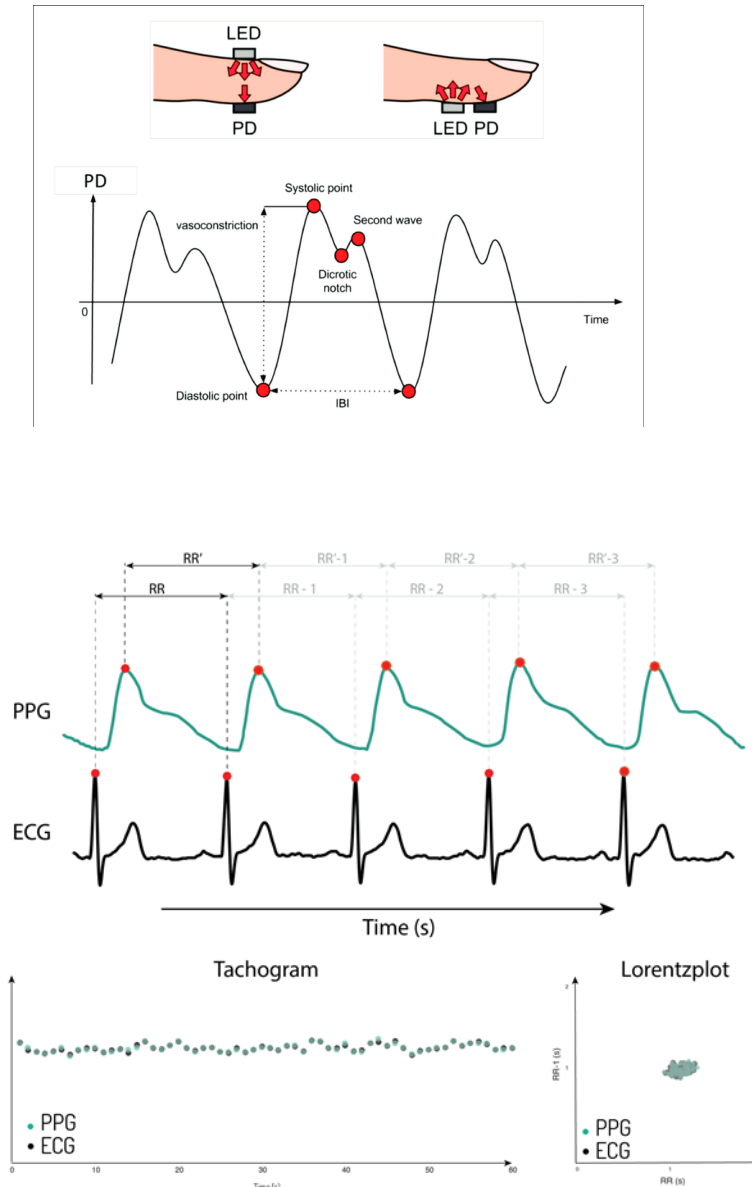
**System współczulny** zwiększa automatyzm i pobudliwość węzła zatokowo-przedsionkowego (SA), przez co zwiększa częstość akcji serca. Zwiększa również przewodnictwo impulsów elektrycznych przez układ przewodzący przedsionkowo-komorowy i zwiększa siłę skurczu przedsionkowo-komorowego.

*Wpływ układu współczulnego wzrasta podczas wdechu.*

**System przywspółczulny** zmniejsza automatyzm i pobudliwość węzła przedsionkowo-zatokowego (SA node), przez co zmniejsza częstość akcji serca. Zmniejsza również przewodnictwo impulsów elektrycznych przez układ przewodzenia przedsionkowo-komorowego i zmniejsza siłę skurczu przedsionkowo-komorowego.

*Wpływ układu przywspółczulnego zwiększa się podczas wydechu.*

Wyznaczanie częstości pracy serca (HR- Heart Rate) na podstawie pomiarów foto-pletyzmoграфicznych metodą odbiciową lub przelotową.



## Typowe zastosowania analizy badań elektrokardiograficznych

### Ocena stanu zdrowia serca

EKG jest wykorzystywane w zastosowaniach klinicznych do określania stanu zdrowia serca poprzez badanie różnych składowych zapisu elektrokardiogramu (fale, załamki, interwały) EKG pod kątem normalnej i nieprawidłowej aktywności.

### *Badanie wysiłkowe.*

EKG jest istotnym sygnałem w badaniu fizjologii wysiłku (badanie odpowiedzi organizmu na aktywność fizyczną), która obejmuje również szeroki zakres parametrów fizycznych, takich jak wentylacja, pobór tlenu, produkcja dwutlenku węgla, ciśnienie krwi i dane dotyczące temperatury rdzenia/powierzchni.

### *Psychofizjologia*

Zapis i analiza kilku sygnałów fizjologicznych (rejestracje wielokanałowe i wielomodalne) synchronicznie z EKG, np. ciśnienia krwi, aktywności elektroskórnej (EDA), elektromiografii (EMG) itp.

### *Edukacja fizjologiczna*

EKG stanowi ważny elementem w edukacji fizjologicznej biorąc pod uwagę dużą ilość informacji diagnostycznych oraz nieinwazyjność i powszechność tego badania.



## Zastosowania analizy rejestracja sygnału elektromiograficznego (EMG)

### **Biomechanika**

Biomechanika to nauka o ruchu w odniesieniu do układu mięśniowego i szkieletowego człowieka. Biomechanika sportu i ćwiczeń obejmuje obszar nauki zajmujący się analizą mechaniki ruchu człowieka.

### **Analiza chodu**

Analiza chodu jest metodą stosowaną do oceny sposobu chodzenia lub biegania w celu wykrycia nieprawidłowości biomechanicznych. Głównym celem analizy chodu jest pomiar stopnia pronacji. Pronacja to naturalne przetaczanie się stopy do wewnątrz, gdy zewnętrzna część pięty uderza o podłoże. Proces ten działa jak amortyzator dla nogi i ciała, optymalnie rozkładając siłę uderzenia pięty o podłoże.

### **EMG mięśni twarzy**

Ludzka mimika twarzy jest przedmiotem zainteresowania zarówno psychologów, jak i psychofizjologów. Elektromiografia twarzy (EMG) jest jedną z metod pomiaru ekspresji emocjonalnej, takiej jak strach, zaskoczenie, szczęście, obrzydzenie, smutek i złość. Istnieją różnice w zachowaniu twarzy na poziomie indywidualnym, oparte na subiektywnych reakcjach.

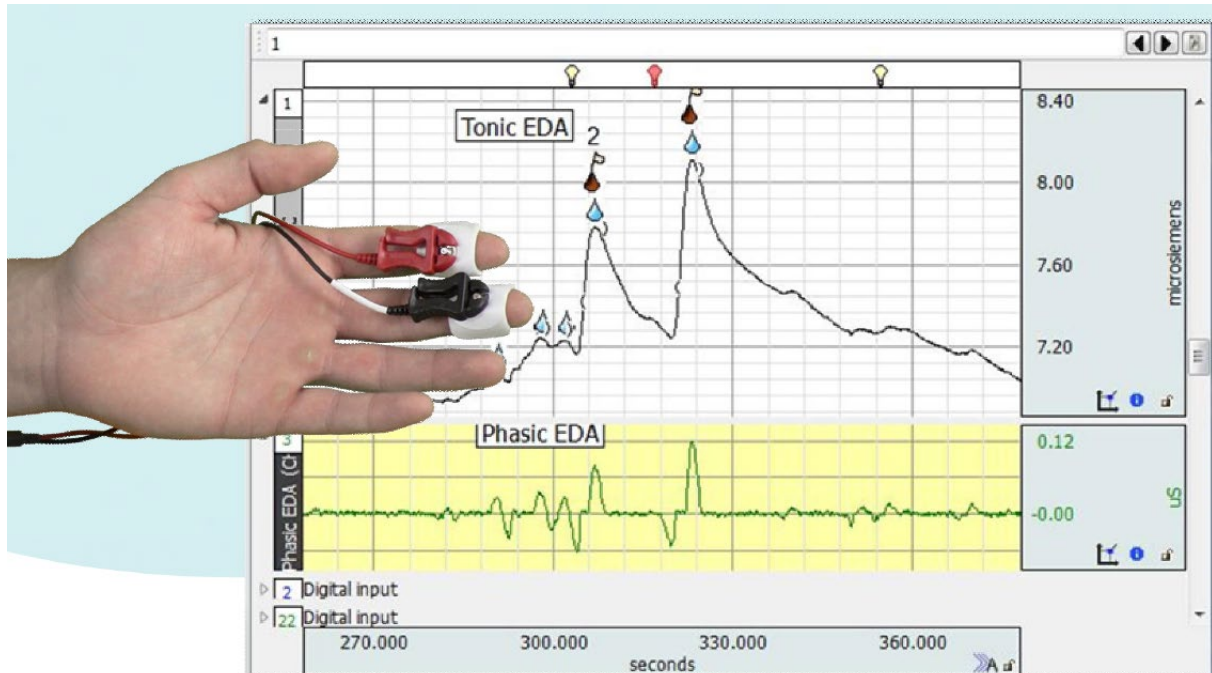
EMG twarzy może być rozróżniane na podstawie aktywności poszczególnych mięśni twarzy. Aktywność mięśnia zygomatycznego większego odpowiada emocjom pozytywnym (szczęście, zaskoczenie), a mięśnia gałkoruchowego górnego (corrigator supercilii) emocjom negatywnym (złość, strach, obrzydzenie).

### **System bio-sprzężenia (biofeedback) mięśniowego**

Biofeedback (sprzężenie zwrotne w organizmach biologicznych) jest formą systemu samoregulacji, w której osoba otrzymuje informacje w formie sensorycznego sprzężenia zwrotnego na temat stanu lub funkcji biologicznej w celu uzyskania kontroli nad tym procesem. Biofeedback jest często stosowany jako narzędzie terapeutyczne, za pomocą którego terapeuci, specjaliści medycyny sportowej/rehabilitacji, neurofizjolodzy i psychofizjolodzy mogą używać aparatury elektrofizjologicznej do pomiaru, przetwarzania i "sprzężenia zwrotnego" zarejestrowanych informacji do podmiotu badania (klienta, pacjenta, sportowca).



## Typowe zastosowania wyników analizy konduktacji skóry EDA (odpowieź skórno-galwaniczna).



### ***Naukowe badania w dziedzinie psychologii***

Badania psychologiczne wykorzystują EDA (aktywność elektrodermalną lub galwaniczną reakcję skóry GSR) do określenia, w jaki sposób ludzie reagują emocjonalnie na różne bodźce. Bodźce sensoryczne (wzrok, słuch, równowaga, smak, zapach) również mają wpływ na stan emocjonalny uczestnika. Co ciekawe (choć wysoce subiektywne), percepcja koloru może również wywoływać zmiany w autonomicznym układzie nerwowym, co z kolei wpływa na nastrój i zachowanie uczestnika. Ciepłe kolory, takie jak czerwony, pomarańczowy i żółty, u niektórych osób wywołują emocje ciepła i komfortu, a u innych złość i wrogość. Sformułowanie "widzieć czerwony" odnosi się do rozgniewanej osoby. Kolory chłodne, takie jak zielony, różowy i niebieski, wywołują uczucia od zazdrości ("zielony z zazdrości"), przez spokój, po smutek lub obojętność ("uczucie niebieskiego").

### ***Psychoterapia***

EDA jest często wykorzystywana w leczeniu i ocenie pacjentów cierpiących na różne fobie, zespół stresu pourazowego (PTSD) i inne stany emocjonalne. Poprzez monitorowanie EDA, fizjologiczne pobudzenie pacjenta może być pomocnym barometrem do oceny ciężkości stanu, jak również sukcesu kolejnych działań terapeutycznych.

### ***Edukacja w dziedzinie fizjologii***

EDA jest ważnym elementem w edukacji fizjologicznej i jednym z wielu sygnałów fizjologicznych, istotnych w prowadzeniu badań naukowych m.in. dotyczących sprzężenia zwrotnego w organizmach biologicznych (Biofeedback).

### ***Neuromarketing i badania w obszarze mediów***

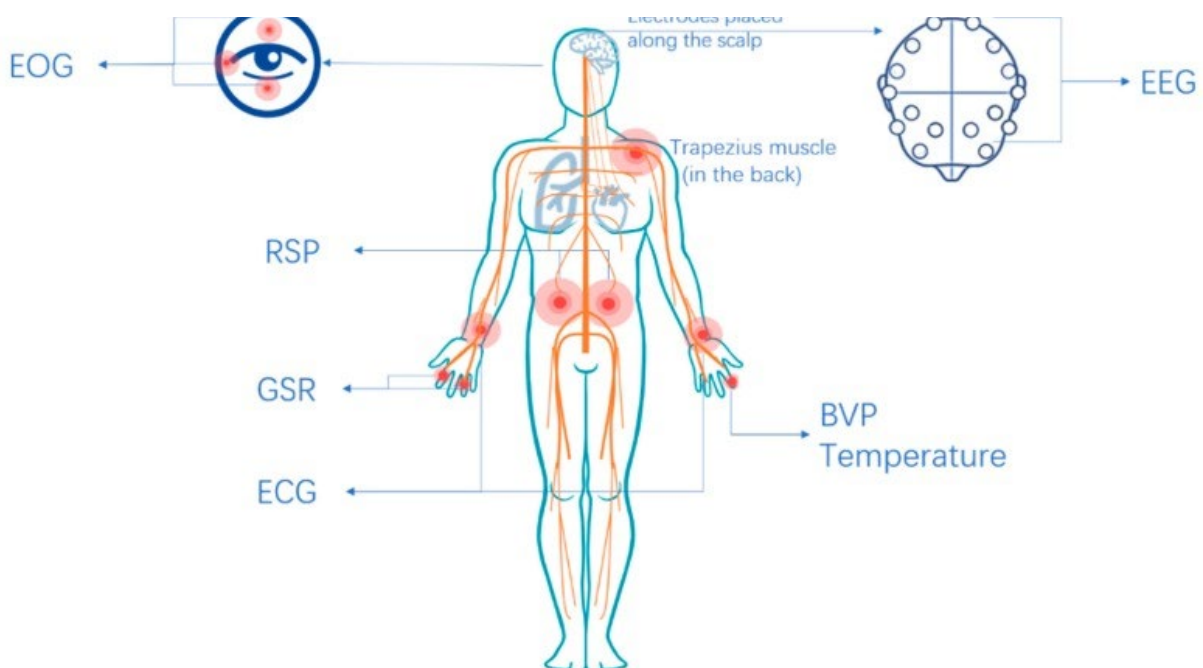
EDA może być wykorzystywana do śledzenia pobudzenia emocjonalnego wynikającego z ekspozycji na produkty, reklamy, zwiastuny i programy telewizyjne podczas badań konsumenckich. Wiele preferencji dotyczących zakupów i oglądania telewizji opiera się na procesach podświadomych. Dane otrzymane w wyniku analizy sygnałów EDA mogą być pomocne w ocenie preferencji klientów na poziomie podprogowym i dostarczać badaczom obiektywnych informacji zwrotnych.

### ***Testowanie użyteczności oprogramowania i doświadczeń użytkowników końcowych***

EDA jest często używane jako barometr podczas testowania łatwości użytkowania oprogramowania i innych interaktywnych aplikacji. Aplikacje te mogą obejmować prezentacje bodźców, wideo i wirtualną rzeczywistość. Jeśli uczestnik staje się wyciszony, zdezorientowany lub sfrustrowany, wskaźniki z badań EDA są dobrym miernikiem tego typu reakcji emocjonalnych oraz tego, w którym momencie doświadczenia te reakcje występują.

### 3. Aplikacje biosensorów połączonych w wielokanałowe i wielomodalne Sieci Biosensoryczne (BSN – Body Sensor Networks). Jak mogą one mierzyć i dostarczać do sieci globalnej i chmur obliczeniowych dane rejestrowane z powierzchni ciała pacjenta w celu dalszego przetwarzania i wnioskowania?

Wraz z rozwojem technologii sensorów fizjologicznych, układów scalonych małej mocy oraz technologii komunikacji bezprzewodowej, sieci czujników umiejscowionych na ciele osoby badanej (Body Sensor Networks) stały się nieodzowną częścią inteligentnych usług medycznych, monitorując stan użytkowników w czasie rzeczywistym. Systemy te określane są również jako *body area network* (BAN), bezprzewodowe *body area network* (WBAN) lub medyczne *body area network* (MBAN). Dziedzina *body area network* jest interdyscyplinarną dziedziną, która może umożliwić niedrogi, powszechnie dostępne oraz ciągłe monitorowanie stanu zdrowia z aktualizacją dokumentacji medycznej w czasie rzeczywistym poprzez Internet. Szereg inteligentnych czujników fizjologicznych może zostać zintegrowanych w bezprzewodową, nadającą się do noszenia sieć, która może być wykorzystywana do rehabilitacji wspomaganą komputerowo lub wczesnego wykrywania stanów chorobowych. Dziedzina ta opiera się na możliwości wszczepiania bardzo małych biosensorów wewnątrz ludzkiego ciała, które są wygodne i nie przeszkadzają w wykonywaniu normalnych czynności. Wszczepione w ciało ludzkie czujniki będą zbierać różne zmiany fizjologiczne w celu monitorowania stanu zdrowia pacjenta bez względu na jego położenie. Informacje te będą przekazywane bezprzewodowo do zewnętrznej jednostki przetwarzającej. Urządzenie to natychmiast przekaże wszystkie informacje w czasie rzeczywistym do lekarzy na całym świecie. W przypadku wykrycia nagłego wypadku, lekarze natychmiast poinformują pacjenta poprzez system komputerowy, wysyłając odpowiednie wiadomości lub alarmy.



## Assessment of Mental Workload with Psychophysiological measures

Istotne w tym obszarze są wyniki prac Bailey (et al. [17]), gdzie przedstawiono psychofizjologiczne miary do oceny wpływu przerw w zadaniach na wydajność osoby wykonującej zadaną czynność. Autorzy wykazali, że przerywanie ciągłości pracy wiąże się z istotnymi negatywnymi skutkami, takimi jak wydłużenie czasu wykonania zadania, szerszy zakres błędów, dodatkowy wysiłek w podejmowaniu decyzji oraz zmiany nastroju, takie jak wzrost frustracji i niepokoju.

Obciążenie umysłowe podstawowych zadań, takich jak rozwiązywanie problemów z użyciem komputera i przedstawianych na monitorze, percepcja wzrokowa i szybkość poznawcza mogą być mierzone za pomocą komponentów sieci czujników umieszczonych na powierzchni ciała (body sensor networks), np. urządzenia śledzącego ruch gałek ocznych EOG, sygnałów EEG, ECG, EDA, przepływu ciepła i pomiaru tętna. W rezultacie odkryto, że EKG i przepływ ciepła pozwalają odróżnić zadania o wysokim i niskim zapotrzebowaniu poznawczym z 80% precyzją.

## Detekcja stresu przy zastosowaniu złożonych sieci sensorycznych.

Stres jest głównym czynnikiem wielu chorób i każdy może doświadczyć stresu w pewnym momencie lub raz w życiu, ze względu na ogromne psychofizjologiczne wymagania podczas wykonywania codziennych czynności. Ludzki stres jest rodzajem kontrolowanego stanu niestabilności, któremu można przeciwdziałać np. przez zastosowanie odpowiednich technik relaksacyjnych i zarządczych w odpowiednim czasie. Wiele badań wskazuje, że stres jest wspólnym czynnikiem zarówno patogenezy, jak i zaostrzenia skutków wielu chorób, od zwykłego przeziębienia po poważne choroby układu krążenia. Analiza sygnałów fizjologicznych czy próbek biochemicznych należą do grupy zaawansowane metody pomiaru poziomu stresu. Mocz, ślina i próbki krwi są podstawowym materiałem biochemicznym w identyfikacji skutków stresu w organizmie człowieka, jednak analiza ta wymagająca pobierania próbek odbywa się zwykle w nieregularnych odstępach czasu, jest inwazyjna i niewygodna dla pacjenta, co poważnie ogranicza jej skuteczność w ocenie stresu w czasie rzeczywistym w porównaniu z ciągłym próbkowaniem sygnałów fizjologicznych (EKG, galwaniczna reakcja skóry (GSR), elektromiogram (EMG), elektroencefalogram (EEG), ciśnienie krwi (BP), temperatura skóry (ST), częstość oddechów (RR) i puls objętościowy krwi (BVP)). Analiza tych nieinwazyjnie pozyskiwanych z powierzchni ciała sygnałów stanowi duży obszar badawczy, którego celem jest opracowanie nowszych i bardziej skutecznych metodologii pomiaru intensywności stresu.

Spośród ww. kilku rodzajów sygnałów fizjologicznych, sygnał EKG, a w szczególności wyznaczany na jego podstawie sygnał zmienności rytmu serca (HRV) odgrywają istotną rolę w obecnych badaniach nad oceną stresu. Należy jednak mieć świadomość również ograniczeń występujących przy krótkoterminowych rejestracjach HRV, problemem optymalizacji cech istotnych dla detekcji stresu, wyborem odpowiedniego pasma częstotliwości analizy HRV, by możliwa była poprawa wskaźnika wykrywania stresu w niezależnej od cech osobniczych podmiotu analizie, przeprowadzanej dla dużych populacji. Większość eksperymentów dotyczących oceny stanu afektywnego, takich jak emocje i stres, jakie można znaleźć w literaturze, mierzono za pomocą sygnałów fizjologicznych w krótszych

odstępach czasu (poniżej 60 s). Europejskie Towarzystwo Kardiologiczne zasugerowało, że do pomiaru częstości akcji serca (HR) na podstawie sygnałów EKG niezbędny jest co najmniej 5-minutowy czas trwania badania.

## 4. Kluczowe idee

---

- Dla każdego zarejestrowanego sygnału fizjologicznego kluczem jest: jak zmienić zmierzone surowe dane w wiedzę na podstawie algorytmów ekstrakcji cech.
- Doskonałym przykładem zastosowania analizy sygnałów fizjologicznych jest sygnał HRV (sygnał Zmienności Rytmu Serca), który jest wynikiem nieinwazyjnej rejestracji EKG lub przetwarzania fali tętna krwi. HRV mierzone w tak wygodny sposób pozwala na uzyskanie informacji o stanie i działaniu Autonomicznego Układu Nerwowego.
- Ostatnim, najbardziej rozbudowanym przykładem zastosowań pomiarów fizjologicznych są sieci sensoryczne na ciele pacjenta (Body Sensor Networks), obecnie tak dynamicznie rozwijające się dzięki połączeniu technologii sensorycznych i informatycznych.



## 5. Literatura

---

- [1] Billman, G. E. (2011). Heart rate variability – a historical perspective. *Front. Physiol.* 2:86. doi: 10.3389/fphys.2011.00086
- [2] Billman, G. E. (2013a). The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Front. Physiol.* 4:26. doi: 10.3389/fphys.2013.00026
- [3] Billman, G. E. (2013b). The effect of heart rate on the heart rate variability response to autonomic interventions. *Front. Physiol.* 4:222. doi: 10.3389/fphys.2013.00222
- [4] Bravi, A., Green, G., Herry, C., Wright, H. E., Longtin, A., Kenny, G. P., et al. (2013). Do physiological and pathological stresses produce different changes in heart rate variability? *Front. Physiol.* 4:197. doi: 10.3389/fphys.2013.00197
- [5] Carter, R. III, Hinojosa-Laborde, C., and Convertino, V. A. (2014). Heart rate variability in patients being treated for dengue viral infection: new insights from mathematical correction of heart rate. *Front. Physiol.* 5:46. doi: 10.3389/fphys.2014.00046
- [6] Glass, L., Lerma, C., and Shrier, A. (2011). New methods for the analysis of heartbeat behavior in risk stratification. *Front. Physiol.* 2:88. doi: 10.3389/fphys.2011.00088
- [7] Grant, C. C., Murray, C., Janse van Rensburg, D. C., and Fletcher, L. (2013). A comparison between heart rate and heart rate variability as indicators of cardiac health and fitness. *Front. Physiol.* 4:337. doi: 10.3389/fphys.2013.00337
- [8] Heathers, J. A. (2014). Everything Hertz: methodological issues in short-term frequency-domain HRV. *Front. Physiol.* 5:177. doi: 10.3389/fphys.201400177
- [9] Hinojosa-Laborde, C., Rickards, C. A., Ryan, K. L., and Convertino, V. A. (2011). Heart rate variability during simulated hemorrhage with lower body negative pressure in high and low tolerant subjects. *Front. Physiol.* 2:85. doi: 10.3389/fphys.2011.00085
- [10] Huikuri, H. V., and Stein, P. K. (2012). Clinical application of heart rate variability after acute myocardial infarction. *Front. Physiol.* 3:41. doi: 10.3389/fphys.2012.00041
- [11] Jelinek, H. F., Huang, Z. Q., Khandoker, A. H., Chang, D., and Kiat, H. (2013). Cardiac rehabilitation outcomes following a 6-week program of PCI and CABG patients. *Front. Physiol.* 4:302. doi: 10.3389/fphys.2013.00302
- [12] Lombardi, F., and Stein, P. K. (2011). Origin of heart rate variability and turbulence: an appraisal of autonomic modulation of cardiovascular function. *Front. Physiol.* 2:95. doi: 10.3389/fphys.2011.00095
- [13] Fritz, T.; Begel, A.; Müller, S.C.; Yigit-Elliott, S.; Züger, M. Using Psycho-physiological Measures to Assess Task Difficulty in Software Development. In *Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering, Hyderabad, India, 31 May–7 June 2014*; pp. 402–413.
- [14] Haapalainen, E.; Kim, S.; Forlizzi, J.F.; Dey, A.K. Psychophysiological measures for assessing cognitive load. In *Proceedings of the 12th ACM International Conference on Ubiquitous Computing, Copenhagen, Denmark, 26–29 September 2010*; pp. 301–310.
- [15] Ikehara, C.S.; Crosby, M.E. Assessing Cognitive Load with Physiological Sensors. In *Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, Big Island, HI, USA, 6 January 2005*; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2010; p. 295a.
- [16] Hogervorst, M.A.; Brouwer, A.-M.; van Erp, J.B.F. Combining and comparing EEG, peripheral physiology and eye-related measures for the assessment of mental workload. *Front. Neurosci.* 2014, 8, 322.



- [17] Bailey B.P., Iqbal S.T. Understanding changes in mental workload during execution of goal-directed tasks and its application for interruption management. *ACM Trans. Comput. Interact.* 2008;14:1–28. doi: 10.1145/1314683.1314689.



Wsparcie Komisji Europejskiej dla produkcji tej publikacji nie stanowi poparcia dla treści, które odzwierciedlają jedynie poglądy autorów, a Komisja nie może zostać pociągnięta do odpowiedzialności za jakiegokolwiek wykorzystanie informacji w niej zawartych.