

Anna Groborz, Tadeusz Juliszewski
Katedra Eksploatacji Maszyn Rolniczych
Akademia Rolnicza w Krakowie

ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA APARATURY POMIAROWEJ I PROGRAMU KOMPUTEROWEGO FIRMY POLAR DO REJESTRACJI TĘTNA

Streszczenie

Tętno jest najłatwiejszym do zmierzenia i zarejestrowania wskaźnikiem reakcji układu krążenia na wysiłek (głównie fizyczny). Spośród metod pomiaru i rejestracji tętna powszechnie stosuje się obecnie bezprzewodowe mierniki. Zaletą tych mierników – np. firmy POLAR – jest łatwość obsługi. Miernik, składający się z dwóch elementów: opaski zakładanej na klatkę piersiową i zegarowego rejestratora na nadgarstku, nie przeszkadza w wykonywaniu pracy. Zarejestrowane wyniki przenoszone są przy pomocy interfejsu do komputera, gdzie mogą być wizualizowane w postaci wykresów czasowych oraz analizowane statystycznie. Programowanie rejestratora oraz różnorakie opcje analizy statystycznej tętna, umożliwiają ocenę wysiłku podczas pracy. Metoda ta wykorzystywana jest od kilku lat do ergonomicznych badań prowadzonych na Wydziale Agrotechnologii Akademii Rolniczej w Krakowie.

Słowa kluczowe: ergonomia, tętno, wskaźnik wykorzystania rezerwy tętna

Wprowadzenie

Tętno może być wskaźnikiem obciążenia pracą, a zarazem jest najłatwiejszym do zmierzenia i zarejestrowania wskaźnikiem reakcji układu krążenia na wysiłek (głównie fizyczny) [Koradecka 1997]. Maksymalne tętno (HR_{max}) zależne jest od wieku człowieka i można je obliczyć z zależności [ACSM, 1990]:

$$HR_{max} = 220 - \text{wiek osoby (w latach)}$$

Minimalne tętno, zwane też *tętnem bazowym*, (HR_{min}) - występujące podczas snu - jest zróżnicowane indywidualnie w zakresie od 45 do 70 uderzeń/min. Różnica pomiędzy maksymalnym tętnem, a tętnem minimalnym jest nazywana *rezerwą tętna*, tj. swego rodzaju „zapasem” częstości skurczów serca, jako reakcji na wysiłek. Wykorzystanie rezerwy tętna można wyrazić w wartościach bezwzględnych (uderzenia/min), tj. wzrostem częstości skurczów serca w porównaniu do HR_{min} ,

lub w jednostkach względnych (%). Wskaźnik wykorzystania rezerwy tętna (WRT) (*ang. Heart Rate Reserve - HRR*) przedstawia następujący wzór (1) [Center for Lifetime Wellness 2003; Karvonen et al, 1957]:

$$WRT = \frac{HR_{pracy} - HR_{min}}{HR_{max} - HR_{min}} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

gdzie:

- HR_{pracy} – średnie tętno przy wykonywaniu danej czynności [ud/min]
- HR_{min} – tętno bazowe, minimalne [ud/min] (*ang. Resting Heart Rate - RHR*)
- HR_{max} – tętno maksymalne dla danej osoby [ud/min] (*ang. Maximum Heart Rate - MHR*)

Klasyfikacja wysiłku na podstawie wykorzystania rezerwy tętna WRT [%], przy długotrwałym obciążeniu, jest następująca [Buchberger 1984]:

- do 25 % - wysiłek bardzo mały,
- 25–35 % - wysiłek relatywnie mały,
- 35–50 % - wysiłek średni
- 50–65 % - wysiłek dopuszczalny tylko dla osób ze zdrowym układem krążenia,
- 65 – 80 % - wysiłek dopuszczalny tylko warunkowo,
- powyżej 80 % - wysiłek niedopuszczalny.

Skala Christensena (tab.1) przedstawia zależność zmian fizjologicznych, zachodzących w czasie pracy, od natężenia wysiłku fizycznego [Kirchner 1970]. Pomiar tętna pozwala, zatem na określenie wysiłku fizycznego także na podstawie tej skali.

Tabela 1. Skala Christensena
Table 1. Scale of Christensen

Natężenie wysiłku fizycznego	Wydatek energetyczny [kJ/min]	Wentylacja płuc [l/min]	Zużycie tlenu [l/min]	Tętno [uderzenia/min]	Temperatura ciała [°C]
Bardzo lekki	< 10,47	< 10	< 0,5	< 75	< 37,5
Lekki	10,47 - 20,93	10 – 20	0,5 – 1,0	75 – 100	37,5
Średni	20,93 - 31,40	20 – 35	1,0 – 1,5	100 – 125	37,5 – 38,0
Ciężki	31,40 - 41,87	35 – 50	1,5 – 2,0	125 – 150	38,0 – 38,5
Bardzo ciężki	41,87 - 52,33	50 – 65	2,0 – 2,5	150 – 175	38,5 – 39,0
Krańcowo ciężki	> 52,33	> 65	> 2,5	> 175	> 39,0

Pomiar tętna w badaniach praktycznych opiera się albo na prądach czynnościowych serca, albo na zmianie przepuszczalności światła przez drobne naczynia krwionośne w miarę przepływu krwi [Zalewski, Pleszczyński 1979]. Początkowo stosowano przewodowe mierniki tętna (elektrody naklejane na klatkę piersiową)

[Luder et al. 1985; Luder 1988]. Prostsze w zastosowaniu są czujniki fotoelektryczne, wykorzystujące zmianę „przezroczystości” palca lub płata małżowiny usznej, będącej skutkiem zmiany natężenia przepływu krwi wywołanej skurczem serca. Oczywiście noszenie podczas pracy fizycznej czujnika na palcu jest zwykle niemożliwe, tak jak stosowanie czujnika usznego podczas pracy traktorzysty z ochronnikami słuchu. Ponadto, metoda fotoelektryczna uchodzi za mniej dokładną [Zalewski, Pleszczyński 1979]. Metoda bezprzewodowego pomiaru tętna została opracowana w 1983 na Uniwersytecie w Oulu, w Katedrze Elektroniki (Finlandia). Spośród metod pomiaru i rejestracji tętna powszechnie stosuje się obecnie bezprzewodowe mierniki.

Cel

Celem była analiza możliwości wykorzystania aparatury pomiarowej i programu komputerowego firmy POLAR do rejestracji tętna.

Zastosowanie aparatury i programu komputerowego firmy POLAR do rejestracji tętna

Budowa i zasada działania miernika POLAR

Miernik POLAR składa się z opaski zakładanej na klatkę piersiową oraz zegarowego rejestratora na nadgarstku (rys. 1). W monitorach POLAR transmitery w opasce wykrywają uderzenia serca. W momencie, kiedy transmiter zliczy uderzenia serca, transmituje sygnał elektromagnetyczny za pomocą nadajnika, który jest wykrywany przez nadgarstkowy rejestrator. Zarejestrowane wyniki przesyłane są przy pomocy interfejsu do komputera, gdzie mogą być wizualizowane w postaci wykresów czasowych oraz analizowane statystycznie. Badane osoby zapisują rodzaj wykonywanych prac oraz zegarowy czas rozpoczęcia i zakończenia danej czynności. Następnie te zapisy porównuje się ze zmierzonym i zarejestrowanym tętnem, które zostały wykonane aparaturą POLAR, wyznaczając wartość średnią tętna [Groborz, Juliszewski 2003].



Rys. 1. Aparatura pomiarowa firmy POLAR

Fig. 1. Measurement apertures of POLAR company

Zastosowanie aparatury i programu firmy POLAR

Aparatura i program komputerowy firmy POLAR, stosowane są powszechnie w badaniach sportowych. Metoda ta wykorzystywana jest do ergonomicznych badań obciążenia pracą personelu zatrudnionego w przemyśle [Kaukiainen et al. 2002], usługach transportowych [Honaker 1996], a także w rolnictwie [Juliszewski 2001]. Na Wydziale Agrotechnologii Akademii Rolniczej w Krakowie, od kilku lat, prowadzone są badania obciążenia pracą osób zatrudnionych w rolnictwie, m.in. traktorzystów, osób zatrudnionych przy pracach polowych, w ogrodnictwie i w fermach drobiu czy krów mlecznych [Groborz, Juliszewski 2003; 2005a, b, c; Groborz, Juliszewski, Gonciarz 2005].

Zalety i wady stosowania pomiaru tętna jako metody obciążenia pracą

Rejestracja tętna bezprzewodową aparaturą, wykazuje wiele zalet w porównaniu do pomiarów wykonywanych innymi, pośrednimi, metodami. Jak wiadomo, zastosowanie mierników obciążenia pracą, bazujących na pomiarach wentylacji płuc (np. miernik WE-2 skonstruowany w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy), wymaga zastosowania maski na twarzy badanej osoby i rejestratora połączonych przewodami z maską. Ogranicza to porozumiewanie się z otoczeniem (a rozmowę wyklucza), ogranicza także ruchy podczas fizycznej pracy. Pomiary i rejestracja temperatury ciała, jako wskaźnika obciążenia pracą, są również kłopotliwe z uwagi na wpływ mikroklimatu na temperaturę ciała (skóry).

Zastosowanie metod bezpośrednich (kalorymetrycznych) jest praktycznie niemożliwe w naturalnych (nie laboratoryjnych) warunkach typowych stanowisk pracy. Bezprzewodowy pomiar i rejestracja tętna jest więc metodą łatwą do zastosowania w rzeczywistych warunkach pracy – zwłaszcza w rolnictwie. Wadą metody jest oczywiście to, że pomiar częstości skurczów serca jest miernikiem tylko wskaźnikiem obciążenia, a szybkość akcji serca zależy od wielu czynników (rodzaj wysiłku, warunki mikroklimatu, stres, emocje, wiek pracownika, poziom wydolności, płeć) [Makowiec-Dąbrowska et al. 2000]. Należy jednak dodać, że przy pomocy algorytmów obliczeniowych można szacować wydatek energetyczny organizmu (np. kJ/min) na podstawie zmierzonego tętna pracującej osoby.

Opis możliwości aparatury i programu firmy POLAR

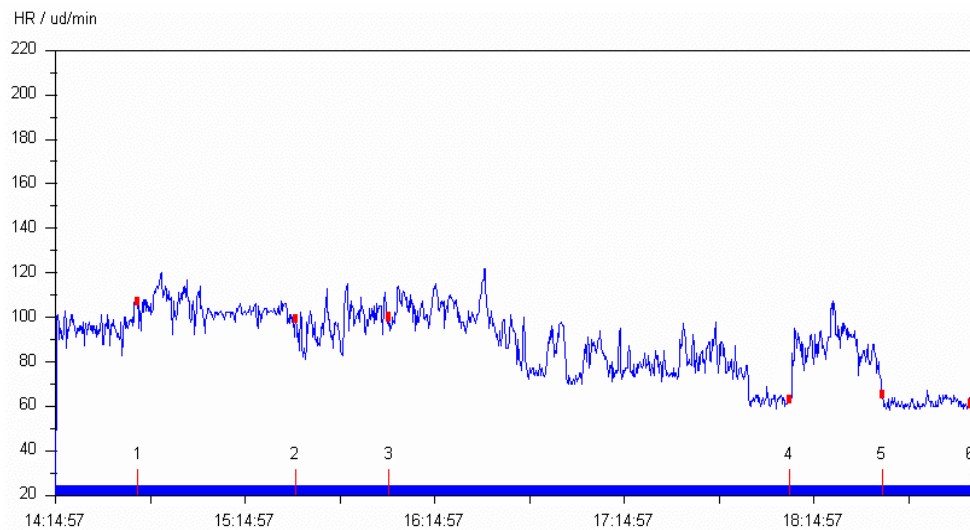
Bezprzewodowy rejestrator tętna umożliwia elektroniczny i graficzny zapis tysięcy danych. Przykładowo przy tętnie 70 uderzeń/minutę w czasie jednej godziny serce uderza 4200 razy ($70 \text{ ud/min} \cdot 60 \text{ min}$), a w czasie 8 godzin już 33600 razy ($70 \text{ ud/min} \cdot 60 \text{ min} \cdot 8 \text{ h}$). Aparatura firmy POLAR pozwala na zapis uderzeń

serca w przedziale, co 60 s – wówczas pamięci w rejestratorze wystarcza na czas 134 h 46 min, w przedziale co 15 s – 33 h 41 min, co 5 s – 11 h 13 min oraz przy zapisie każdego uderzenia serca (R-R) na zapis 4000 uderzeń.

Spośród wielu funkcji możliwych do rejestracji poprzez aparaturę modelu Polar S610iTM, najbardziej przydatne w warunkach badań obciążenia pracą w rolnictwie są następujące:

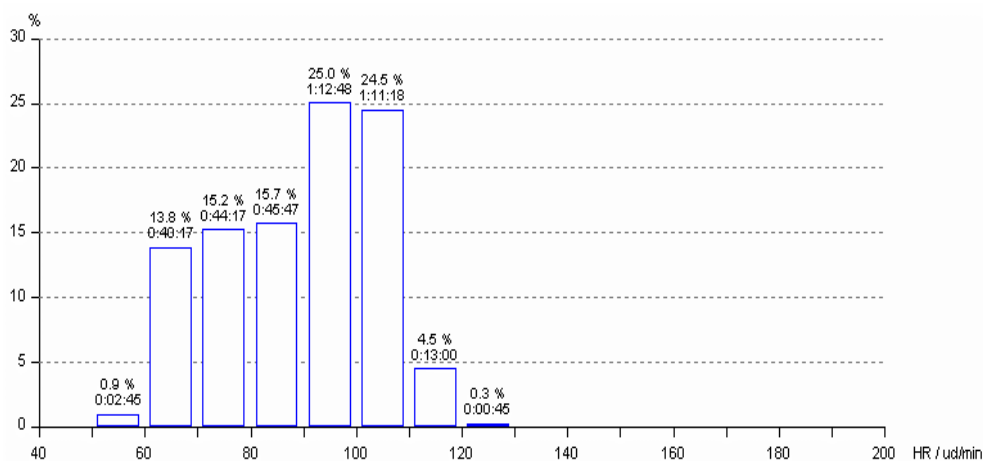
1. rejestracja tętna w zadeklarowanym przedziale czasowym z możliwością zaznaczenia na wykresie tętna: maksymalnego, minimalnego oraz znaczników (cyfrowych oznaczeń na osi czasu) poszczególnych czynności, wykonywanych podczas badań,
2. transmisja danych przez podczerwień (bezpośrednio do laptopa) lub opcjonalny interfejs na podczerwień (port szeregowy lub USB),
3. program Polar Precision Performance 3, umożliwia przedstawienie zarejestrowanych danych w postaci:
 - listingu, czyli zapisów wszystkich zmierzonych wartości tętna w odstępach czasu wcześniej zadeklarowanych,
 - wykresu zależności tętna [ud/min] w czasie (rys. 2). Istnieje także możliwość zmiany formatu parametru tętna, podawanego na osi rzędnych w jednostkach [ud/min] na format procentowego tętna maksymalnego (%HR_{max}) lub procentowej rezerwy tętna w czasie (%HRR). Nb. w przypadku badań dużej ilości osób, najbardziej przyjazny dla użytkownika programu jest format tętna w podstawowej wersji, tj. w uderzeniach na minutę, ponieważ w dwóch pozostałych formatach za każdym razem otwarcia i analizy wykresu (innej osoby) należy zmienić w programie osobę (z menu opcje), której badania dotyczą (aby program pobrał jej tętno minimalne i maksymalne).
 - histogramu (rys. 3), który przedstawia procentowy czas trwania określonych wartości tętna (podział co 10 ud/min),
 - informacji, dotyczących całego wykresu tętna w czasie (czas trwania, czas uśredniania, liczba uderzeń serca, tętno minimalne, średnie, maksymalne, odchylenie standardowe),
 - informacji, dotyczących międzyczasów (czas rozpoczęcia całego zapisu, czas trwania międzyczasu, ilość uderzeń serca, tętno: maksymalne, średnie, minimalne).

Program zawiera także kalendarz, do którego można wpisać (z klawiatury) zaplanowane badania lub wykonać opis wcześniejszych pomiarów (tętno spoczynkowe, długość i jakość snu, opis warunków pogodowych i temperatury powietrza).



Rys. 2. Wykres zależności tętna [ud/min] w czasie wraz ze znacznikami międzyczasów (oznaczenia cyfrowe: 1,2,3,4,5,6 na osi czasu)

Fig. 2. Chart of dependence of heart rate on time in conjunction with marks of lap time (numeric signs: 1,2,3,4,5,6 on the time axis)



Rys. 3. Histogram przedstawiający procentowy czas trwania określonych wartości tętna

Fig. 3. Histogram presents percent of time duration specific value of heart rate

Aparatura i program komputerowy POLAR do pomiarów i rejestracji tętna umożliwia określenie obciążenia pracą w rolnictwie, bieżącą kontrolę pomiarów uderzeń serca, archiwizowanie danych (tętno, data, czas, temperatura), analizę statystyczną danych. Odznacza się łatwą obsługą i nie utrudnia pracy. Jedynym ograniczeniem zastosowania tej aparatury, jakie zaobserwowano, są problemy zapisu danych w rejestratorze, w przypadku prowadzenia pomiarów w pobliżu urządzeń magnetycznych, zakłócających przesyłanie danych z nadajnika (takich jak: monitor komputerowy, telewizor, projektor multimedialny, silnik elektryczny).

Wnioski

1. Analiza możliwości wykorzystania aparatury i programu komputerowego firmy POLAR do rejestracji tętna wykazała, iż spełniają one podstawowe wymagania do prowadzenia badań w rolnictwie.
2. Tętno oraz wskaźnik wykorzystania rezerwy tętna mogą być zastosowane do oceny obciążenia pracą personelu w rolnictwie, m.in. przy pracach polowych, w ogrodnictwie czy w fermach zwierząt.

Bibliografia

American College of Sports Medicine, 1990 (<http://support.polar.fi> – z dnia 22.04.2005).

Buchberger J. 1984. Die Beurteilung von Arbeitsbeanspruchungen aufgrund der kontinuierlich registrierten Herzschlagfrequenz. Arbeitsärztlicher Dienst des BI-GA, Bern. Arbeitsmedizinische Informationen Nr.12.

Center for Lifetime Wellness, University of Rochester Medical Center, 2003 (<http://www.stronghealth.com/services/primarycare/toolkitfiles/hearttrate.cfm> – z dnia 22.04.2005)

Groborz A., Juliszewski T. 2003. Wstępna ocena obciążenia pracą kobiet podczas typowych prac w gospodarstwie domowym na wsi. Inżynieria Rolnicza. Nr 11(53), s. 91-96.

Groborz A., Juliszewski T. 2005 a. Czas pracy i fizjologiczne obciążenie pracą w szklarniach. Inżynieria Rolnicza. Nr 6(66), artykuł w druku.

Groborz A., Juliszewski T. 2005 b. Obciążenie pracą w fermach drobiu. Proceedings of Int. Conf., Slovak Agricultural University, Dudince 2-3.06.2005.

Groborz A., Juliszewski T. 2005 c. Obciążenie pracą personelu w oborze krów mlecznych. Inżynieria Rolnicza, artykuł w druku.

Groborz A., Juliszewski T., Gonciarz M. 2005. Analiza obciążeń pracą na podstawie wskaźnika wykorzystania rezerwy tętna i obciążeń statycznych metodą OWAS. Materiały konferencyjne Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „Modelowanie Cybernetyczne Systemów Biologicznych”, Kraków 20-21.05.2005.

Honaker R.E. 1996. Assessing trailer material handling tasks: biomechanical modeling, posture categorization, physiological measure, and subjective rating. Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University for the degree of Master of Science in Industrial and System Engineering. Blacksburg, Virginia.

Juliszewski T. 2001. Udoskonalenia techniczne w gospodarstwach rolnych a obciążenie pracą. W: Obciążenie fizyczne i psychiczne pracą w rolnictwie. Praca zbiorowa pod red. F. Bujaka, J. Zagórskiego. Instytut Medycyny Wsi. Lublin, s. 151-156.

Karvonen M. et al. 1957. The effect of training on heart rate. A longitudinal study. *Ann. Med. Exp. Biol. Fenn.*35, p. 307-315.

Kaukiainen A. et al. 2002. New equipment to lighten the work load of construction workers. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*. Vol. 8, No. 2, p. 209 – 224.

Kirschner. 1970. Ergonomiczna analiza uciążliwości pracy. Pod red. A. Hansen. Wydanie Związkowe CRZZ. Warszawa.

Koradecka D. et. al. 1997. Bezpieczeństwo pracy i ergonomia. Centralny Instytut Ochrony Pracy. Warszawa, s.101.

Luder W., Huber R., Juliszewski T. 1986. Arbeitsbelastung beim Melken. *Proceedings of XXII CIOSTA-CIGR V Congress, Stuttgart–Hohenheim*, pp. 538- 544.

Luder W. 1988. Heu abladen mit gem Dosiergerät: Hohe kosten statt Schwerarbeit? *FAT – Berichte 352*. Edig. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon, Szwajcaria.

Makowiec-Dąbrowska T., Radwan-Włodarczyk Z., Koszada-Włodarczyk W., Józwiak Z.W., 2000, Obciążenie fizyczne – praktyczne zastosowanie różnych metod oceny, Instytut Medycyny Pracy im. Prof. J. Nofera, Łódź.

Zalewski P., Pleszczyński W. 1979. Ergonomia dla mechanizatorów rolnictwa. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, s. 252.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005/2006 jako projekt badawczy

FEASIBILITY STUDY OF POLAR METHODS AND COMPUTER PROGRAM TO HEART RATE MEASUREMENT

Heart rate is the index of a reaction of the circulatory system to effort (mainly physical), which is the easiest to measure and record. From among methods of heart rate measurement and record, cordless meters are commonly applied nowadays. One of the advantages of these meters – for example POLAR – that they are easy to use. The meter consists of two elements: chest band and wrist recorder, which do not interfere with work. The recorded results are transferred by interface to a computer, where they could be presented in the form of time charts, and analyzed statistically. The programming of the recorder and various options of the statistic analysis of heart rate enable researchers to evaluate physical effort during work. That method has been used for a few years in ergonomic research led by the Faculty of Agricultural Engineering at the Agricultural University of Krakow.

Keywords: ergonomics, heart rate, heart rate reserve index