

## Problemy metodologiczne pomiaru czasu reakcji<sup>1</sup>

Adam Tarnowski<sup>2</sup>

Wydział Psychologii, Uniwersytet Warszawski

### METHODOLOGICAL ASPECTS OF REACTION TIME MEASUREMENT

**Abstract.** Reaction time is one of most frequently used indicators in experimental psychology and psychological practice. There are however some assumptions, which investigators not always realise. The paper is devoted to analyse some aspects of reaction time measurement. The problems of measurement scale, reaction time investigations under assumption of serial vs. parallel information processing are discussed as well as statistical methods frequently assessed to reaction time experiments. It is postulated, that rather individual distributions of reaction times than "mean reaction time" alone should be used while analysing psychological data using reaction time as dependent variable indicator.

Pomiar czasu reakcji jest niewątpliwie jednym z podstawowych narzędzi w warsztacie psychologa zarówno w badaniach naukowych, jak i w praktyce diagnostycznej. Mimo niewątpliwych zalet technika ta nie jest wolna od obciążeń. Psycholog nie zapewnia sobie precyzji pomiaru funkcjonowania złożonych konstruktów przez sam fakt użycia dobrego zegara.

Często czas reakcji traktuje się jako przykład pomiaru dokonywanego na skali ilorazowej, nie zadając sobie trudu przedyskutowania zależności pomiędzy continuum manifestowanym i latentnym. Bez próby jakiegokolwiek argumentacji jako jedyną miarę podaje się średni czas reakcji z szeregu prób, podczas gdy średnia arytmetyczna nie zawsze jest najwłaściwszą miarą tendencji centralnej dla rozkładu czasów reakcji, a ponadto często użyteczne są również inne parametry charakteryzujące ten rozkład.

Niniejszy artykuł jest próbą refleksji nad problemami związanymi z pomiarem czasu reakcji. Nie wyczerpuje on z pewnością listy możliwych kłopotów, jakie psycholog – badacz i praktyk – napotkać może w tej dziedzinie. Nie na wszystkie postawione pytania autor zdołał znaleźć odpowiedź zadowalającą, ma jednak nadzieję, że zaprezentowane tutaj pomysły przydadzą się w planowaniu badań oraz w interpretacji danych chronometrycznych.

### ZAŁOŻENIE PODSTAWOWE

Podstawowym założeniem umożliwiającym badanie konstruktów psychologicznych za pomocą wskaźników opartych na pomiarze czasu reakcji jest stwierdzenie, iż procesy zachodzące między pojawieniem się bodźca a wystąpieniem reakcji absorbują czas i przebiegają seryjnie. Założenie takie nie zawsze może być uzasadnione. Przyjmując model procesowy poznawczych w umyśle człowieka zaproponowany przez Posnera (Posner, 1994; Posner, Raichle, 1994), zakłada się istnienie mechanizmu centralnego oraz szeregu mechanizmów podrzędnych. Mechanizm centralny jest niespecyficzny, wolny od modalności zmysłowych, a do jego funkcji należy podejmowanie decyzji, wykonywanie operacji umysłowych, selekcja reakcji, intencjonalne poszukiwanie informacji itp. Mechanizmy podrzędne (np. mechanizm orientacji wzrokowej, odpowiedzialny za przyciąganie uwagi do pojawiających się w polu widzenia nowych bodźców) obsługują niejako sytuacje prostsze, ze wzrostem złożoności zadania angażując zasoby mechanizmu centralnego. Według tego modelu jedynie w obrębie mechanizmu centralnego obowiązuje seryjne przetwarzanie napływającej informacji. Mechanizmy podrzędne są w stanie przetwarzać dane niezależnie od siebie, a nawet równolegle analizować kilka informacji w tym samym czasie w obrębie tej samej struktury poznawczej (Yantis, Johnson, 1990). Innym przykładem niespełnienia założenia jest badanie czasu reakcji na równoczesny bodziec dźwiękowy i świetlny. Oba sygnały są przetwarzane równolegle, droga aferentna bodźca słuchowego zwykle (ale nie zawsze) zajmuje mniej czasu. Przeciętny czas reakcji zatem skraca się, jeśli badana jest reakcja prosta, wydłuża natomiast, jeśli zadaniem badanego jest rozpoznanie konfiguracji bodźców (np. żółte światło i równocześnie niski dźwięk). Trudno wskazać, zwłaszcza

<sup>1</sup> Tezy artykułu były prezentowane na IX konferencji naukowej z cyklu Metodologiczne problemy współczesnej psychologii, która odbyła się w Kamieniu Śląskim, w dniach 13-16 listopada 1997 r. Opracowanie sfinansowano ze środków KBN w ramach realizacji tematu badań statutowych UW BST 714/39.

<sup>2</sup> Adres do korespondencji: Zakład Psychologii Decyzji, Wydział Psychologii Uniwersytetu Warszawskiego, ul. Stawki 5/7, 00-183 Warszawa; e-mail: adam.tarnowski@psych.uw.edu.pl

ADAM TARNOWSKI

w pierwszym przypadku, na który z bodźców zareagował badany.

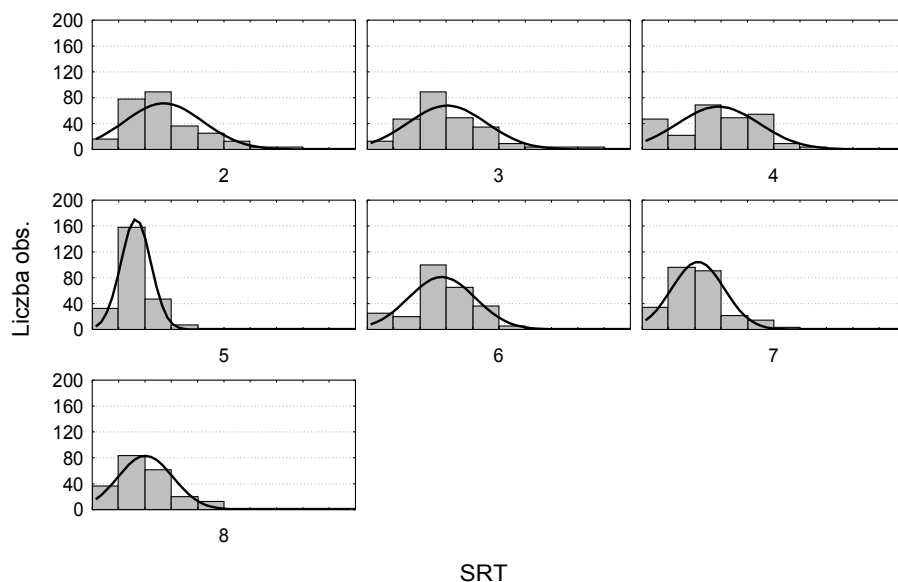
Badacz stosujący czas reakcji jako wskaźnik badanej zmiennej powinien zatem ze szczególną starannością przeanalizować procesy zachodzące w umyśle człowieka – zarówno aferentne, jak i ośrodkowe, i eferentne.

## PARAMETRY INDYWIDUALNYCH ROZKŁADÓW CZASU REAKCJI

Pojedyncze pomiary czasu reakcji, w odróżnieniu od odpowiedzi w testach kwestionariuszowych, stanowią dokładne repliki pomiaru badanej zmiennej. Prawidłowa analiza danych powinna stwarzać możliwość wykorzystania wyników pomiarów wszystkich replikacji, nie zaś tylko wartości przeciętnej. Z psychometrycznego punktu widzenia dostarczają więcej danych o rozkładzie skłonności (teoretyczny rozkład możliwych do uzyskania przez daną osobę wyników w teście). Poniżej dokładniejszej analizie zostanie poddanych kilka parametrów rozkładu.

### Wariancja rozkładu

Jeżeli występuje wariancja wyników uzyskanych przez badaną osobę, musi istnieć źródło tej wariancji. Wyjaśnienie źródeł wariancji intraindywidualnej (zróznicowania wyników u każdej z osób) może dostarczyć wiele informacji na temat zarówno natury badanych procesów, jak i rzetelności stosowanej procedury eksperymentalnej. Rysunek 1 pokazuje przykładowe rozkłady czasów reakcji ruchu oka uzyskane w jednym z eksperymentów autora. Osoby zostały dobrane w sposób tendencyjny w celu lepszej ilustracji tezy.



Rys. 1. Czasy reakcji skokowych ruchów oka u siedmiu osób

Po otrzymaniu wyników, takich jak przytoczone na rys. 1, należy postawić zasadnicze pytanie o jakość kontroli nad procedurą eksperymentalną. Wystąpienie różnic zasadniczo wariancji rozkładu świadczyć może bądź o większej labilności badanych procesów u niektórych osób (czy zatem różnice indywidualne kontrolowane były w wystarczającym stopniu?) lub – co dyskwalifikuje wiarygodność danych – o wystąpieniu w niektórych przypadkach niekontrolowanego źródła wariancji. Jeżeli wyniki takie mają być uznane za wiarygodne, badacz powinien raz jeszcze upewnić się, czy procedura była kontrolowana w wystarczającym stopniu. Dobrą praktyką może być ściśle rejestrowanie warunków poszczególnych pomiarów nie tylko w zakresie założonych zmiennych ubocznych kontrolowanych, lecz także „na zapas” – innych zmiennych, nawet pozornie nie mających wpływu na proces. Szybka analiza danych – kiedy badacz pamięta jeszcze osoby badane i zdarzenia zachodzące w trakcie pomiarów – również pozwoli na zapewnienie lepszej kontroli eksperymentalnej. Autor proponuje, aby postulat homogeniczności wariancji intraindywidualnych był koniecznym warunkiem stosowania parametrycznych metod analizy danych. Jeżeli badacz jest pewien, że problem nie jest wynikiem oddziaływania niekontrolowanej zmiennej (a więc po wykluczeniu merytorycznych źródeł błędu), może problem ten wyeliminować formalnie,

## PROBLEMY METODOLOGICZNE POMIARU CZASU REAKCJI

stosując proponowane przez Brzezińskiego i Stachowskiego (1983) procedury transformacji danych.

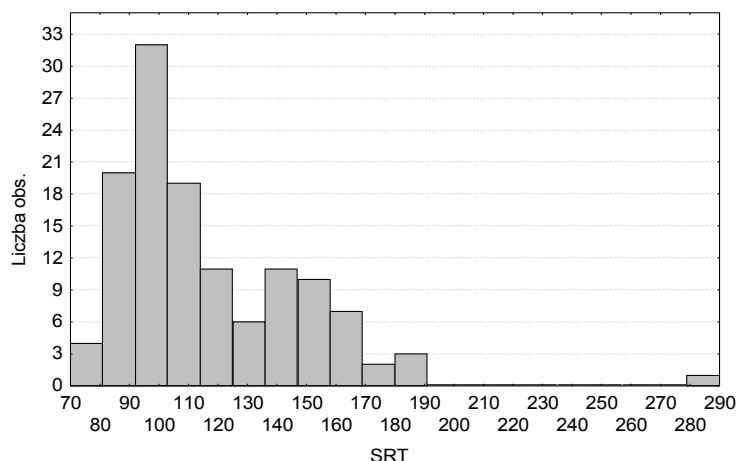
### Skośność

Podstawowe – zdaniem autora – znaczenie dla wyjaśnienia przyczyn skośności rozkładu intraindywidualnego czasów reakcji ma pytanie, czy system percepcyjny człowieka cały czas znajduje się w jednakowej gotowości do przyjmowania bodźców. W odniesieniu do percepcji wzrokowej z całą pewnością odpowiedź jest negatywna (Posner, Raichle, 1994; Fischer, Breitmeyer, 1987). Po przeniesieniu uwagi na nowy punkt lub nawet po wykonaniu korekcyjnego ruchu oka system okoruchowy jest przez pewien czas niezdolny do wykonania nowej reakcji. Istnieją strefy w polu widzenia, do których ruch oka musi przebiegać nieco wolniej. W standardowym eksperymencie wykorzystującym czas reakcji jako wskaźnik zmiennej zależnej z reguły nie ma możliwości kontroli położenia punktu fiksacji wzroku w stosunku do bodźca, nie ma również możliwości synchronizacji prezentacji bodźca z ostatnio wykonanym ruchem skokowym. Oba te warunki (a nie można wykluczyć, że istnieją jeszcze inne) stanowią niesystematyczne źródło błędów, prowadząc do opóźnienia niektórych reakcji. Dotyczy to sytuacji, gdy bodziec pojawił się w miejscu niedogodnym do spostrzeżenia lub bezpośrednio po skokowym ruchu oka. Wśród zaprezentowanych na rys. 1 rozkładów aż sześć (z siedmiu) może być określonych jako silnie skośne.

### Dwumodalność rozkładu

W szczególnym przypadku rozkład może mieć charakter dwumodalny. W realizowanych przy współpracy autora badaniach nad konsekwencjami poznawczymi niedotlenienia wysokościowego<sup>3</sup> rejestrowano również dwumodalne rozkłady czasu reakcji. Niekiedy proces bodziec-reakcja z założenia może przebiegać na dwa sposoby. Wówczas reakcje reprezentują dwie populacje procesów o różnej charakterystyce zarówno w zakresie parametrów czasowych, jak i wrażliwości na zakłócenia. Rysunek 2 przedstawia pochodzący z badań autora rozkład czasów reakcji skokowych ruchów oka.

W eksperymencie, z którego zaczerpnięto powyższe dane, stosowano procedurę przerwy czasowej, wymuszającą oderwanie uwagi od wcześniej obserwowanego punktu. Część ruchów oka w tej sytuacji ma charakter w pełni odruchowy – są to skokowe ruchy ekspresowe (Fischer, Weber, 1993; Marek, Fąfrowicz, 1995), część natomiast podlega kontroli intencjonalnej (ruchy skokowe regularne). Oczywiście oba typy ruchów różnią się między sobą jakościowo, toteż traktowanie rozkładu w sposób łączny i wyliczanie jego sumarycznych parametrów może prowadzić do artefaktów badawczych, a w najlepszym razie do zaciemnienia istotnych zależności.



Rys. 2. Rozkład czasów reakcji skokowych ruchów oka

### Schemat analizy danych uzyskanych w badaniu czasu reakcji

Powyższe rozważania miały na celu przekonanie Czytelnika do tezy, zgodnie z którą wnioskowanie na podstawie jedynie średniej arytmetycznej wyliczonej ze wszystkich czasów reakcji osoby badanej w określonej sytuacji eksperymentalnej może być źródłem nieporozumień. We własnych badaniach autor analizuje dane według kilku reguł.

Etapem pierwszym jest jakościowa analiza histogramów czasów reakcji uzyskanych od poszczególnych osób. Na tej podstawie ustala się, czy rozkłady mają charakter dwumodalny i czy nie są nadmiernie skośne. Do oceny

<sup>3</sup> Dziękuję doktorowi Olafowi Truszczyńskiemu z Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej za udostępnienie materiałów.

ADAM TARNOŃSKI

homogeniczności wariancji uzyskanych u poszczególnych osób badanych można zastosować testy homogeniczności wariancji, zwłaszcza test Bartletta (Brzeziński, Stachowski, 1983), którego statystyka oparta jest na porównaniu wszystkich danych.

Na drugim etapie dokonuje się oceny homogeniczności próby. W przypadku negatywnego wyniku testu Bartletta można za pomocą testu jednorodności próby (Góralski, 1987) wyeliminować osoby odbiegające rażąco od pozostałych, wobec których przypuszczamy, że wystąpiły niekontrolowane eksperymentalnie źródła wariancji wyników pomiaru. Na tym etapie należy też wyjaśnić pochodzenie rozkładów dwumodalnych. Niekiedy dokonuje się selekcji czasów świadczących o reakcjach ewidentnie wydłużonych lub przedwczesnych, np. w przypadku percepcji wzrokowej czas krótszy niż 70 ms oznacza, iż działanie człowieka rozpoczęło się przed pojawieniem się bodźca, w przypadku innych modalności czasy te mogą być nieco krótsze.

Trzeci etap to opracowanie wskaźników sumarycznych dla rozkładów czasów reakcji pochodzących od poszczególnych osób. Ponieważ najczęściej wśród danych dominują rozkłady lewoskośne, za miarę przeciętnego czasu reakcji danej osoby przyjmuje się medianę. Korzystne jest uwzględnienie jako dodatkowej zmiennej zależnej miary rozproszenia danych (dyspersji rozkładu). Wychodząc z podobnego jak poprzednio założenia, za właściwy współczynnik przyjąć można odchylenie ćwiartkowe (różnicę między wartościami trzeciego i pierwszego kwartyla).

Często wyznaczenie korelacji indywidualnych dyspersji z kontrolowanymi w eksperymencie zmiennymi pozwala ustalić interesujące prawidłowości dotyczące wyjaśnianej zmiennej. Jeżeli dane nie spełniają warunków kwalifikujących do analizy ilościowej (dwumodalne rozkłady, znaczna skośność, duże różnice wariancji u poszczególnych osób), lepiej poprzestać na analizie jakościowej histogramów, wnioski wykorzystując w planowaniu kolejnych badań pod kątem analizy ilościowej.

#### SKALA POMIAROWA WSKAŹNIKÓW OPARTYCH NA CZASIE REAKCJI

Przedziałowy status pomiaru zakłada, że relacja odległości na skali pomiarowej ma swoje odbicie na kontinuum latentnym. Mierząc czas reakcji, mamy więc zaufanie, iż określonej różnicy w przebiegu procesów umysłowych odpowiada proporcjonalny wzrost czasu. Niekiedy nawet czas reakcji stosuje się jako miarę stałych dyspozycji osób badanych i podstawę ich selekcji zawodowej. Czy jednak dokładność pomiaru czasu nie stwarza iluzji precyzji odwzorowania funkcjonowania umysłowego człowieka (przynajmniej w odniesieniu do sprawności percepcji) na skali pomiarowej?

Zasadnicza wątpliwość opiera się na często obserwowanej skośności rozkładów czasu reakcji. Jak wspomniano, może być ona wiązana z opóźnieniem momentu percepcji, a nie wydłużeniem czasu przetwarzania informacji. Badacz zainteresowany czasem przetwarzania informacji nie może jednakowo traktować przyrostu wyników np. od 800 do 900 ms. oraz liczbowo identycznego przyrostu od 400 do 500. Zatem nie można zakładać, że równa jednostka skali pomiarowej odpowiada równym przyrostom cechy latentnej. Niektórzy badacze eliminują ten problem, z założenia odrzucając wyniki przekraczające arbitralnie wyznaczoną granicę (Fischer, Rogal, 1986). Nie zawsze zabieg taki jest jednak możliwy i satysfakcjonujący.

## PROBLEMY METODOLOGICZNE POMIARU CZASU REAKCJI

### PROBLEMY OBLICZENIOWE

#### W EKSPERYMENTACH WYKORZYSTUJĄCYCH POMIAR CZASU REAKCJI

Uwagi przedstawione w dalszej części artykułu odnoszą się do sytuacji, w której badacz pomyślnie rozwiązał problemy sygnalizowane powyżej i dysponuje rzetelnymi danymi, które może traktować jako pomiar na skali przedziałowej. W innym przypadku stosowanie metod nieparametrycznych wiązać się będzie ze znaczną utratą informacji, ponieważ nie ma opracowanych metod statystycznych do analizy wielokrotnych pomiarów u tej samej osoby na tym samym poziomie czynnika eksperymentalnego.

W zależności od problemu badawczego i warunków kontroli zmiennych niezależnych eksperymentator staje przed wyborem jednego z dwóch zasadniczych modeli analizy danych – analizy wariancji lub modelu korelacyjno-regresyjnego. O ile pierwsza z metod dostarcza satysfakcjonującej metody analizy danych z uwzględnieniem replikacji pomiaru, o tyle metoda korelacyjno-regresyjna nie ma dobrych narzędzi wnioskowania statystycznego.

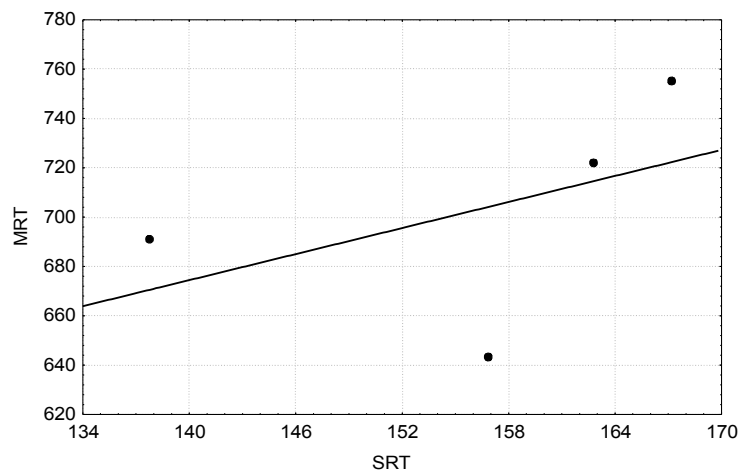
#### Model ANOVA

Stosowany model analizy wariancji uwzględniać powinien to, iż zmienna zależna mierzona jest wielokrotnie u tej samej osoby badanej na tym samym poziomie czynnika. Jest to sytuacja najczęściej spotykana w eksperymentach, gdy mierzy się wiele czasów reakcji osoby badanej na daną konfigurację bodźców.

Jak wykazali Brzeziński i Stachowski (1983), zastosowanie w takiej sytuacji prostego modelu analizy wariancji prowadzi do popelnienia znacznych błędów we wnioskowaniu, najczęściej polegających na przeszacowaniu istotności wpływu czynnika eksperymentalnego. W sytuacji stosowania wielu pomiarów zmiennej zależnej u każdej osoby podobnej modyfikacji wymagają także inne metody wnioskowania statystycznego. Wątpliwości przedstawione powyżej, aczkolwiek nie podważają istoty samych odkryć eksperymentatorów, pozostawiają pewne niejasności w odniesieniu do szczegółów. Istnieje także model pozwalający na analizę wieloczynnikowych sytuacji eksperymentalnych. Przykład jego zastosowania znaleźć można w pracy autora (Tarnowski 1996).

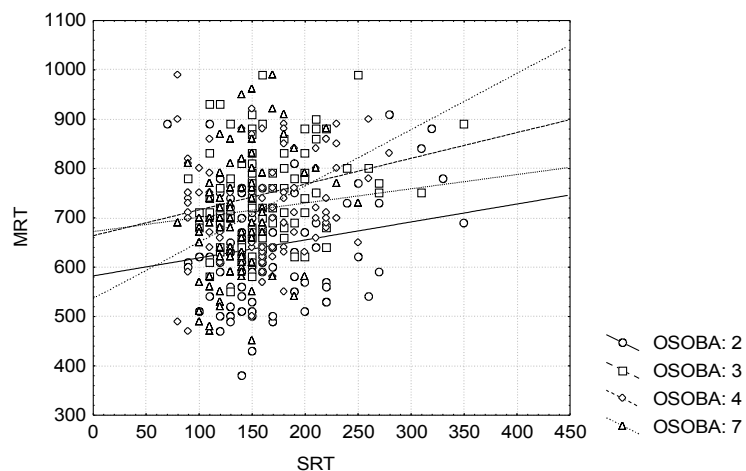
#### Model korelacyjno-regresyjny

W przypadku analizy regresji badacz napotyka znaczny problem. Otóż pragnąc wyznaczyć korelację między czasem reakcji dwóch rodzajów w jednej sytuacji eksperymentalnej (np. czas reakcji okoruchowej i manualnej na ten sam bodziec – por. Fischer, Rogal 1986), musi odpowiedzieć sobie na pytanie, o jakiego typu zależność mu chodzi. Może być to problem korelacji różnic indywidualnych (*between means*) i wówczas badacza interesować będzie związek przeciętnych wyników pomiarów obu zmiennych u poszczególnych osób. Badacz może również pytać o korelację między poszczególnymi czasami reakcji na bodźce (*trial by trial*). Pierwszy sposób analizy proponuje się określać jako interindywidualny, drugi zaś – jako intraindywidualny. Różnicę pomiędzy tymi dwoma metodami analizy pokazują rysunki 3 i 4.



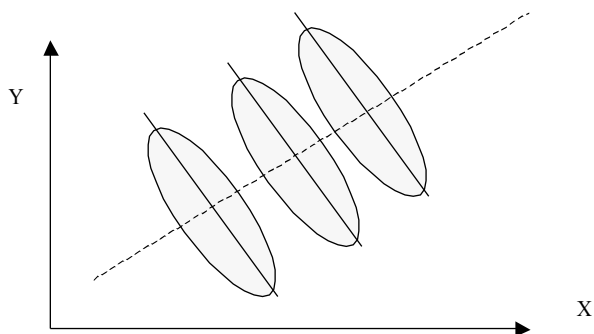
Rys. 3. Interindywidualna korelacja między średnimi czasami reakcji okoruchowej i manualnej uzyskana w badaniu czterech osób

ADAM TARNOWSKI



Rys. 4. Intraindywidualne związki między czasem reakcji okoruchowej (skala X) i manualnej (skala Y) uzyskane w badaniu czterech osób

Siła związku między badanymi czasami reakcji może być więc podstawą weryfikacji dwóch hipotez. Zostaną one sformułowane przykładowo dla oczekiwanej zależności prostej między czasem reakcji skokowych ruchów oka a czasem reakcji ruchu ręki. Pierwsza hipoteza stwierdza, że krótki czas reakcji ruchu oka na pojawiający się bodziec wiąże się z krótkim czasem reakcji manualnej. Druga z kolei głosi, że osoby o krótkim przeciętnym czasie reakcji okoruchowej charakteryzują się również krótkim przeciętnym czasem reakcji manualnej. Obie hipotezy są logicznie niezależne. Empirycznie analiza danych zaprezentowanych na rys. 3 i 4 prowadzi do przyjęcia pierwszej hipotezy oraz odrzucenia drugiej. W skrajnym przypadku związek może mieć w obu sytuacjach przeciwny kierunek. Fikcyjny przykład przedstawia rys. 5.



Rys. 5. Fikcyjny przykład sytuacji, w której korelacja „wewnątrz osób” (elipsy otaczają wyniki uzyskane przez każdą z osób, prosta regresji narysowana jako linia ciągła) ma znak przeciwny do korelacji „między osobami” (prosta regresji narysowana linią przerywaną). Dla każdej osoby wzrost X wiąże się ze spadkiem Y, ale osoby o wyższych średnich wartościach X mają też wyższe średnie wartości Y.

W rzeczywistych danych jednak możliwość wystąpienia takiej sytuacji wskazuje na konieczność ostrożnego stosowania modeli regresyjnych do danych, w których występują replikacje pomiarów. Żadna z powszechnie stosowanych metod analizy regresji nie pasuje w pełni do przedstawionej wyżej sytuacji. Podstawową trudność sprawia wykorzystanie informacji zawartej w indywidualnych rozkładach badanych czasów reakcji.

\*

Prezentowany artykuł z pewnością nie wyczerpuje zagadnienia trudności metodologicznych wiążących się z pomiarem czasu reakcji i jego zastosowaniami. Pomiar czasu reakcji jest obszernie opisany literaturze przedmiotu, z pewnością też warto tę metodę stosować w badaniach naukowych i diagnostyce. Celem artykułu była prezentacja szeregu problemów metodologicznych, na które autor natknął się w czasie własnych badań

## PROBLEMY METODOLOGICZNE POMIARU CZASU REAKCJI

i pracy klinicznej, oraz poddanie pod dyskusję zastosowanych w tych badaniach rozwiązań. Przedstawione wnioski można podsumować w następujących punktach:

1. Badając czas reakcji, należy w miarę możliwości dokładnie przeanalizować naturę procesów zaangażowanych w percepcję, podjęcie decyzji i inicjację ruchu. Szczególną uwagę należy zwrócić na możliwość przetwarzania informacji równoległe przez struktury poznawcze oraz jednorodność procesów.
2. Analizując rozkłady indywidualne czasów reakcji u każdego z badanych z osobna, należy wyjaśnić źródło występujących podwójnych wartości modalnych, skośności rozkładu i nieproporcjonalnie w stosunku do całej grupy zwiększonej wariancji intraindywidualnej. Dane te mogą dostarczyć ważnej informacji o stopniu kontroli eksperymentalnej.
3. Prezentując wyniki badania czasu reakcji, należy podać informację nie tylko o wartości przeciętnej dla poszczególnych osób, ale również (co najmniej) o dyspersji intraindywidualnej.
4. Należy dobrać optymalne metody statystyczne – zarówno na poziomie opisu rozkładów indywidualnych, jak i wnioskowania statystycznego – zawsze, kiedy to możliwe, z uwzględnieniem występowania replikacji pomiaru. Obecnie trudność sprawia podanie najlepszej metody weryfikacji hipotez w modelu korelacyjno-regresyjnym oraz dla danych nie spełniających założeń skali przedziałowej.

## BIBLIOGRAFIA

- Brzeziński, J., Stachowski, R. (1983). *Zastosowanie analizy wariancji w eksperymentalnych badaniach psychologicznych*. Warszawa: PWN.
- Fischer, B., Breitmeyer, B. (1987). Mechanisms of visual attention revealed by saccadic eye movements. *Neuropsychologia*, 25, 73-83.
- Fischer B., Rogal, L. (1986). Eye-hand coordination in man: A reaction time study. *Biological Cybernetics*, 55, 253-261.
- Fischer, B., Weber, H. (1993). Express saccades and visual attention. *Behavioral and Brain Sciences*, 16 (3), 553-610.
- Góralski, A. (1987). *Metody opisu i wnioskowania statystycznego w psychologii i pedagogice*. Warszawa: PWN.
- Marek, T., Fąfrowicz, M. (1995). Neuropsychologiczne mechanizmy procesu przenoszenia uwagi wzrokowej. *Kolokwia Psychologiczne*, 3, 69-86.
- Posner, M. I., (1994). Attention: The mechanisms of consciousness. *Proceedings of National Academy of Science USA*, 91, 7398-7403.
- Posner, M. I., Raichle, M. E., (1994). *Images of mind*. New York: Scientific American Library.
- Tarnowski, A., (1996). The influence of number of stimuli and motivation on visual attention processes. *Polish Psychological Bulletin*, 27 (3), 281-289.
- Yantis, S., Johnson, D. N. (1990). Mechanisms of attentional priority. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 16 (4), 812-825.