



北海道公立大学法人
札幌医科大学
Sapporo Medical University

札幌医科大学学術機関リポジトリ *ikor*

SAPPORO MEDICAL UNIVERSITY INFORMATION AND KNOWLEDGE REPOSITORY

Title	パーソナルコンピュータによる反応時間計測の問題点
Author(s)	大柳, 俊夫; 仙石, 泰仁
Citation	札幌保健科学雑誌, 第 2 号:61-67
Issue Date	2013 年 3 月
DOI	10.15114/sjhs.2.61
Doc URL	http://ir.cc.sapmed.ac.jp/dspace/handle/123456789/5560
Type	Research Paper
Additional Information	
File Information	n2186621X261.pdf

- コンテンツの著作権は、執筆者、出版社等が有します。
- 利用については、著作権法に規定されている私的使用や引用等の範囲内で行ってください。
- 著作権法に規定されている私的使用や引用等の範囲を越える利用を行う場合には、著作権者の許諾を得てください。

報 告

パーソナルコンピュータによる反応時間計測の問題点

大柳俊夫¹⁾、仙石泰仁²⁾

¹⁾ 札幌医科大学医療人育成センター

²⁾ 札幌医科大学保健医療学部作業療法学科

近年、心理学やリハビリテーション医療における対象者の評価の指標の一つである反応時間の計測でパーソナルコンピュータ（以下、パソコン）が用いられるようになってきた。このパソコン環境は、高性能化、マウスやキーボードのワイヤレス化、指を使ったタッチによるインターフェース、など急速に変化しつつある。本研究では、これらの最近のパソコン環境と高精度に反応時間を計測できる機器を利用して、パソコンによる反応時間計測のタイミングエラーの大きさを調べる実験を行った。この結果、最近のパソコンとBluetooth接続によるマウスやキーボード、USB接続によるボタンスイッチを使って反応時間を計測する場合には、高々1/10秒の精度の計測しか行えないことを示した。またタッチインターフェースを利用した場合は、タイミングエラーが200msec以上の長さとなり、反応時間を取得する方法としては適していないことを明らかにした。

キーワード：反応時間、コンピュータ、計測、タイミングエラー

Some issues in measuring reaction times by personal computers

Toshio OHYANAGI¹⁾, Yasuhito SENGOKU²⁾

¹⁾ Department of Liberal Arts and Sciences, Center for Medical Education, Sapporo Medical University

²⁾ Department of Occupational Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University

In recent years, personal computers have come to be used for measuring the reaction time, which is one of the indices in the assessment of subjects in psychology and rehabilitation medicine research and practice. The computing environment is rapidly changing in the computing performance, the peripherals such as wireless mouse and keyboard, and the user interface such as touch interface using fingers. In this study, we conducted some experiments using the device that was developed to measure reaction time with millisecond timing accuracy to clarify the magnitude of timing error in measuring reaction time by computer environments. As a result, we showed that personal computers with a Bluetooth mouse, a Bluetooth keyboard or button switch connected via a USB interface could measure reaction times with at most 1/10 second timing accuracy. We also clarified that personal computers with touch interface were not suitable for measuring reaction times, since the timing error got longer than 200msec.

Key words : reaction time, personal computer, measurement, timing error

Sapporo J. Health Sci. 2:61-67(2013)

はじめに

反応時間とは、患者・被験者への刺激の提示から、対象者による認識後のボタン押し等による応答までの時間である。心理学、精神医学、脳科学、リハビリテーション医療等における対象者の情報処理過程の評価や分析で反応時間が用いられることが多くあり、そのための専用の機器としていわゆるタキストスコープが開発され利用されてきた。また、反応時間計測で用いる課題についても、本研究で用いる反応時間課題の中で最も単純な単純反応課題の他にも目的に応じて選択反応時間課題、Go/No-Go課題などが研究され利用されてきている。

近年、コンピュータ技術の発達により、これまでのタキストスコープに代わってパーソナルコンピュータ（以下、パソコン）を利用して反応時間を計測する場合がほとんどとなってきている。パソコンを使って反応時間を計測する場合、反応時間を計測する課題のプログラムをパソコンで実行し、刺激の呈示には視覚刺激の場合はパソコンに接続されたディスプレイ、聴覚刺激の場合はスピーカを使い、被験者からの反応の取得は、パソコンに接続されたマウス、キーボード、または専用の入力装置で行い、反応時間の計測にはパソコンの内部タイマーを使う。このため、利用するディスプレイの種類、リフレッシュレートや応答時間などの性能、反応の取得で利用する装置、オペレーティングシステム、計測で利用するプログラム等の影響を大きく受けることがこれまでの研究で明らかとなっている¹⁾。Krantsは、刺激のディスプレイの表示の問題を整理し²⁾、Wiensらは、ディスプレイの種類によって計測誤差に違いがあり、特に液晶ディスプレイで誤差が大きいことを示した³⁾。Plantらは、反応で利用する装置として、マウス、キーボード、ジョイスティック、専用のボードを使った調査を行い、

マウスの違いで数十ミリ秒（1ミリ秒=1/1000秒、以下、msec）の違いが生じることを明らかにした⁴⁾。Forsterらは、刺激の提示と反応時間計測の専用のソフトウェアパッケージを開発し報告しているが⁵⁾、Plantらは、ソフトウェア単体による反応時間の計測では刺激提示の遅れをなくすることはできないことを示した⁶⁾。McKinnyら⁷⁾やDe Clercq⁸⁾は、パソコン以外のハードウェアとソフトウェアを利用してこの問題の解決を試みているが、Forsterらは、費用対効果でこれらの解決方法は現実的ではないと述べている。現在では、商用のシステムとして、計測された反応時間の校正を行うためのBlackBox Toolkitや刺激提示と反応時間計測を行うE-PrimeやSuperLabなどのソフトウェア、反応時間の校正、刺激提示と反応時間計測の機能を持ったVienna Test System、汎用の解析ソフトウェアのMATLAB上で利用できるPsychtoolboxなどがあり、研究機関での利用実績は高くなりつつある。しかし臨床での利用には、価格、設置スペース、使い易さ等の観点で問題があり、ほとんど利用されていない状況にある。このような現状に対してOhyanagiらは、パソコンにUSBのインターフェースで接続して利用するSMART (Solution for Measuring Accurate Reaction Time) 機器を開発した⁹⁾。SMART機器は、パソコンのオペレーティングシステムに依存せずに利用でき、また小型で安価であることから、臨床現場での利用も十分に可能である。また、SMART機器を利用して、臨床現場でこれまで利用実績のある反応時間課題を実施するためのソフトウェア（以下、SMARTソフトウェアと呼ぶ）も開発し提供している。

反応時間計測の問題点、ならびに反応時間計測をパソコンで行った場合とSMART機器を利用した場合の違いを明らかにするために、図1に反応時間計測のタイミングチャートを示す。真の反応時間は、被験者への刺激の呈示から被験者による反応の開始までの時間（図1のRT）となる。パソコンを使って反応時間を計測する場合、実際に被験者

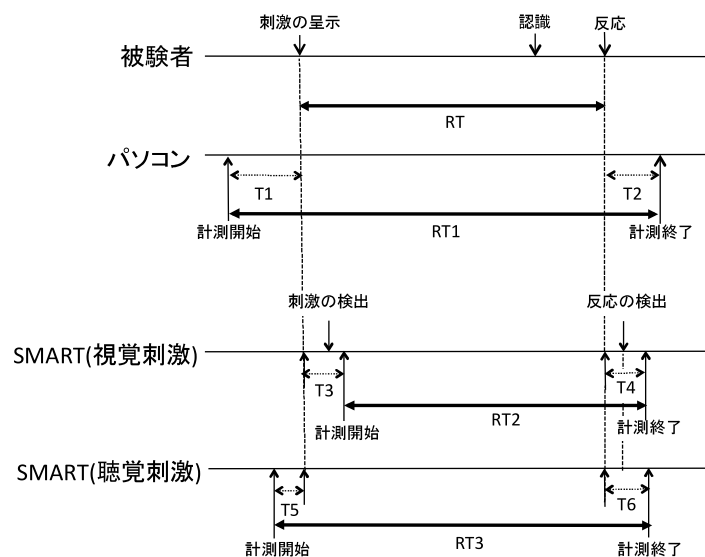


図1 反応時間計測のタイミングチャート

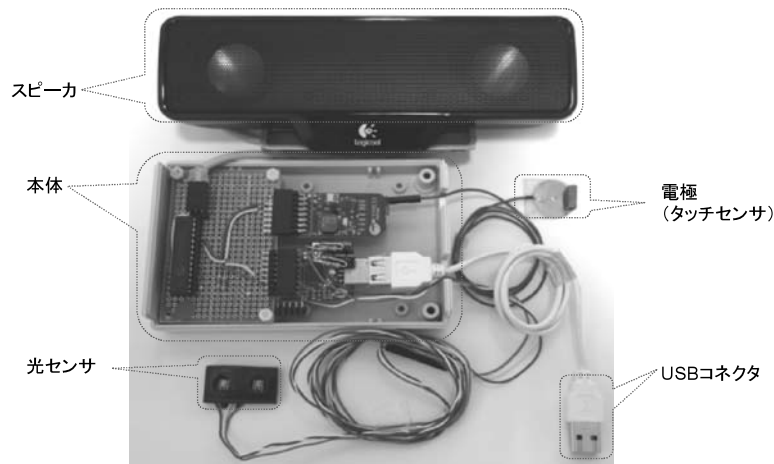


図2 SMART機器の全体

SMART機器の本体をコンピュータのUSBポートに接続して利用する。光センサは、ディスプレイ画面への視覚刺激の呈示の検出に利用する。電極はタッチセンサの入力部で、被験者からの反応を取得する。実験では、この電極をマウス、キーボード、ボタンスイッチに貼り付けて利用した。

へ刺激が呈示されるまでに、刺激を呈示するハードウェアの特性、制約やオペレーティングシステムのタスク管理の状況から遅延(図1の T_1)が発生する。また被験者による反応後も、反応で利用するハードウェアの特性や反応の検出方法により、反応から計測終了までの遅延(図1の T_2)が生じる。従って、パソコンによる計測で得られる反応時間(図1の $RT1$)には、 $RT1-RT=T_1+T_2$ のタイミングエラーが含まれることになる。このタイミングエラーを事前に見積もることは困難であり、このためBlackBox ToolkitやVienna Test Systemでは、このタイミングエラーの大きさを調べるための専用のハードウェアとソフトウェアを利用して、反応時間課題を実施する前に実験で利用するパソコン環境のタイミングエラーの大きさを測定し、実験で得られた反応時間の校正を行うことができるようにしている。一方、SMART機器(図2)を利用する場合、視覚刺激の呈示はパソコンおよびディスプレイを使って行うが、それ以外の反応時間の計測、視覚刺激の呈示の検出、聴覚刺激(周波数と継続時間を設定できるビーブ音)の発生、被験者からの反応の検出をSMART機器で行う。SMART機器は3個のマイクロコンピュータ(以下、マイコン)で構成されており、視覚刺激の呈示の検出と反応時間を計測するタイマー(0.1msec=1/10000秒の精度)の開始と停止、聴覚刺激の発生、反応の検出を3個のマイコンで独立に実行できる。SMART機器を接続したパソコンでは、SMARTソフトウェアで反応時間課題の実行管理、SMART機器への各種命令の送信、SMART機器からの反応時間の取得、を行う。SMART機器を使った場合のタイミングエラーは、視覚刺激の場合と聴覚刺激の場合で異なる。視覚刺激の場合、ディスプレイに貼られたSMART機器に接続された光センサで視覚刺激の呈示を検出し、検出後、タイマーを開始する。ディスプレイや光センサの特性により、視覚刺激呈示の開

始からタイマーの開始までに遅延(図1の T_3)が発生する。また被験者による反応はタッチセンサを用いて行うが、被験者の反応からタッチセンサによる反応の検出、そしてタイマーの停止までの間で遅延(図1の T_4)が発生する。従って、視覚刺激を使った反応時間課題のSMART機器による計測で得られる反応時間(図1の $RT2$)に、 $RT2-RT=T_4-T_3$ のタイミングエラーが含まれることになる。このタイミングエラーに関しては、 $\pm 2\text{msec}$ 程度であることが示されている⁹⁾。また聴覚刺激の場合、発生する聴覚刺激の周波数、継続時間の情報をSMARTソフトウェアからSMART機器へ送り、SMART機器では、聴覚刺激を発生する命令を実行した後で反応時間計測のタイマーを開始する。聴覚刺激を呈示するスピーカの特性等によりタイマーの開始から聴覚刺激がスピーカから聞こえてくるまでに遅延(図1の T_5)が発生する。また反応の取得の際にも視覚刺激の場合と同様に遅延(図1の T_6)が発生する。従って、聴覚刺激を使った反応時間課題のSMART機器による計測で得られる反応時間(図1の $RT3$)に、 $RT3-RT=T_5+T_6$ のタイミングエラーが含まれることになる。このタイミングエラーに関しては、今回SMART機器で利用するスピーカの場合、3msec以内であることが本研究の前に行った試験で確認されている。従って、SMART機器による反応時間の計測は、真の反応時間に対して1/1000秒オーダーの精度を有している。

近年、パソコンが高性能化するとともに、Bluetoothなどの無線技術の成熟によるマウスやキーボードのワイヤレス化、スマートフォンやタブレット端末の発展によるタッチインタフェースの普及により、パソコンの利用環境が様変わりしつつある。

本報告では、最近のパソコンおよび様々な入力装置の環境が反応時間課題を実行して反応時間を取得する環境とし

て適しているか否かを明らかにするために、Windows7とMacOSX 10.7.5が稼働する2種類のパソコンならびにそれらのパソコンに接続する様々な入力装置を利用して行った実験の結果について報告する。

方 法

1. 使用する機器

本研究で利用するパソコンは、Apple社製iMac27インチ（CPU：インテルCorei7 2.8GHz、RAM：8GB、OS：MacOS 10.7.5、ディスプレイのリフレッシュレート：60Hz、2010年9月製、以下iMac）とLenovo社製A720（CPU：インテルCorei7 2.3GHz、RAM：8GB、OS：Windows7、ディスプレイのリフレッシュレート：60Hz、2012年7月製、以下A720）とした。iMacとA720は、ともに27インチのディスプレイが一体となったパソコンで、A720のディスプレイはタッチスクリーンとなっている。一体となっているディスプレイに加えて、外部ディスプレイとしてDell製の23インチ（モデル：AW2310、リフレッシュレート：60Hz、以下AW2310）も利用した。これらのパソコンで単純反応時間課題を遂行した場合の反応の取得は、それぞれのパソコンに附属するいずれもBluetooth接続のマウスのボタンのクリック（以下、MB）とキーボードのスペースキーの押し下げ（以下、KB）、さらにiMacでは別売りのBluetooth接続のトラックパッドへのタッチ（以下、TP）、A720ではタッチスクリーン（以下、ST）、そしてiMacとA720で利用可能なUSB接続のWacom社製ペンタブレットBamboo（モデル：CTH-670/K0、ボタンスイッチとタッチ機能付き）のボタンスイッチのクリック（以下、BB）とタブレット面へのタッチ（以下、BT）とした。聴覚刺激の出力には、SMART機器との利用実績があるLogicool社製スピーカ（モデル：Z205）を利用した。

また、iMacとA720による反応時間計測のタイミングエラーを調べるために、SMART機器を利用した。パソコンによる反応取得のMB、KBならびにBBの際に、それぞれMBのマウスの左ボタン、KBのキーボードのスペースキー、BBのペンタブレットのボタンスイッチにSMART機器のタッチを検出する電極を貼付け、パソコンとSMART機器による反応時間計測を同時に行うようにした。この場合、SMART機器での反応の取得を電極への指のタッチで行うように設定し、そして指と電極の間隔を試行ごとに一定に保つために、電極の端に厚さ5mmの柔らかいスポンジを貼り、被験者の指をそのスポンジに両面テープで貼付けて利用するようにした。この状態で指を下方に動かして反応することで、MB、KB、BBと同時に電極へのタッチによる反応時間を計測が可能となる。なお、iMacのトラックパッド、A720のタッチスクリーン、ペンタブレットのタッチの検出方式が静電容量の変化に基づくものであったため、それらの機器へSMART機器の電極を貼付けた場合、SMART機器の電極

による電界への影響のため誤動作が起り、TP、ST、BTとSMART機器を同時に利用することはできなかった。

実験を遂行する際は、可能な限りパソコンで動作中のタスクを限定するために、アプリケーションはSMARTソフトウェアのみを動かし、無線LANならびに有線LANの機能は無効に設定した

2. 単純反応時間課題

本研究は、周辺機器の評価が目的であることから、利用する反応時間課題として単純反応時間課題を用いた。視覚刺激を用いた単純反応時間課題では、黒色の画面を3000～5000msecの間のランダムな時間間隔で呈示し、その後、画面の中央に視角1度の赤色円を呈示し、被験者による反応を検出する試行を30回繰り返した。聴覚刺激を用いた単純反応時間課題では、画面に黒色の背景の中央に視角1度の赤色正方形を呈示し、3000～5000msecの間のランダムな時間間隔の後で、500Hzのビーブ音をスピーカから発生し、被験者による反応を検出する試行を30回繰り返した。なおビーブ音の発生は、iMacとA720の環境で同じビーブ音を発生させるためにSMART機器のビーブ音発生機能を利用した。いずれの単純反応時間課題もSMARTソフトウェアに組み込み済みであったが、本研究のために、被験者からの反応の取得をSMART機器の電極へのタッチとMB、KB、BBを同時に行う機能をSMARTソフトウェアに追加した。

3. 被験者ならびに実験

被験者は、本研究の目的が反応時間課題を遂行するコンピュータ環境の違いによるタイミングエラーを明らかにすることであるから、Ohyanagiら⁹⁾におけるSMART機器の評価と同様に、反応を取得する機器の利用経験が豊富な第一著者（男性、50代）とした。

実験は、それぞれの課題について、iMacとA720でそれぞれMB、KB、BB、BT、そしてiMacはTP、A720はSTの合計5種類の反応の取得方法を使ってこの順番で行った。課題は、視覚刺激の単純反応時間課題、聴覚刺激の単純反応課題の順に実行した。さらにその後で、ディスプレイをAW2310に変更し、MB、KB、BBを使った視覚刺激の単純反応時間課題を実行した。なお、被験者の疲労の影響を除くために、連続する課題の実行では2分間の休憩を取るようにし、さらにiMacとA720を使った実験は別の日に実施した。

4. 分析方法

実験で得られた反応時間について、まず、実験の設定条件（利用するパソコン、ディスプレイ、そして反応取得方法の組み合わせ）ごとに平均と標準偏差を計算し、さらにMB、KB、BBの場合は、SMARTで得られた反応時間との差についても平均と標準偏差を計算し表にまとめた。さらに、MB、KB、BBとSMART機器の反応時間の差を調べるために対応のあるt検定を行った。なお、平均、標準偏差の計算や検定は、Windows版のSPSS14.0Jを利用して実施した。検定の有意水準はすべて0.05とした。

表 1 iMacならびにA720での単純反応課題の実施結果
平均 (M) および標準偏差 (SD) の単位はmsecである。

	視覚刺激						聴覚刺激						視覚刺激(AW2310)					
	パソコン		SMART		差		パソコン		SMART		差		パソコン		SMART		差	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
iMac																		
MB	336.5	25.4	201.2	13.5	135.3	22.1	271.4	12.4	169.2	10.6	102.1	7.4	332.2	19.4	217.0	12.9	115.2	18.6
KB	307.1	15.5	207.9	11.9	99.2	10.1	213.5	11.9	183.1	12.2	30.4	6.6	306.0	21.6	200.9	25.0	105.1	6.7
BB	288.2	15.7	211.4	15.1	76.8	5.1	204.9	11.5	176.7	9.3	28.2	5.8	302.4	15.6	209.5	11.8	90.0	18.2
BT	483.5	15.7	—	—	—	—	369.1	9.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TP	458.5	33.7	—	—	—	—	368.1	22.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A720																		
MB	281.1	18.3	203.2	18.6	77.8	6.7	175.4	12.3	162.5	11.6	12.9	5.4	260.9	18.3	195.1	19.8	65.8	10.3
KB	321.7	17.2	209.1	11.6	112.6	12.1	212.3	15.5	165.8	12.6	46.6	10.8	305.3	20.8	198.5	16.3	106.8	11.1
BB	312.7	20.8	212.7	15.5	100.0	7.9	191.7	12.6	158.3	12.8	33.5	14.8	287.4	22.1	205.6	21.2	81.8	6.2
BT	659.0	27.3	—	—	—	—	533.3	14.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ST	514.4	16.7	—	—	—	—	399.3	13.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

結 果

それぞれの設定条件での単純反応時間課題の結果を表1に示す。パソコンで計測した場合、視覚刺激の場合の反応時間の平均は、それぞれのパソコンに一体のディスプレイでは、iMacで288.2msec～483.5msec、A720で281.1msec～659.0msec、AW2310の外部ディスプレイでは、iMacで302.4msec～332.2msec、A720で260.9msec～305.3msecであった。また聴覚刺激の場合の反応時間の平均は、iMacで204.9msec～369.1msec、A720で175.4msec～533.3msecであった。一方、SMART機器を使った場合の視覚刺激(AW2310の場合も含む)と聴覚刺激の反応時間の平均は、それぞれ195.1msec～217.0msecと158.3msec～183.1msecであった。パソコンによる場合は、すべての設定条件でSMART機器による場合よりも反応時間が長くなっていたが、特にBT、TPならびにSTによるタッチによる反応時間の平均は、視覚刺激の場合で458.5msec～659.0msec、聴覚刺激の場合で368.1msec～533.3msecとなっており、SMART機器による場合の平均の倍以上の反応時間となっていた。

パソコンのMB、KB、BBとSMART機器で計測された反応時間の差について対応のあるt検定を行った結果、すべての設定条件で、パソコンによる場合とSMART機器を使った場合の反応時間の間に有意な差が認められた(図3)。

考 察

1. MB、KBおよびBBによる反応時間計測の評価

図3に示した検定結果より、MB、KBならびにBBによる反応時間とSMART機器による反応時間の間には、すべての設定条件で統計的に有意な差が認められた。この検定では、パソコンに接続したMB、KBならびにBBとSMART機器で同時に反応時間を計測し、その差を検定で利用してい

ることから、反応時間計測などの感覚・知覚実験で生じる測定値の個人内変動¹⁰⁾の問題はなく、有意差の原因はタイミングエラーの大きさの違いによるものである。表1に示した実験結果から、MB、KBならびにBBとSMART機器によって計測された反応時間との差は、視覚刺激を使った場合、65.8msec(A720でAW2310を利用し、MBと同時に計測)～135.3msec(iMacでMBと同時に計測)、聴覚刺激の場合、12.9msec(A720でMBと同時に計測)～102.1msec(iMacでMBと同時に計測)であった。視覚刺激の場合、最小でも65.8msecあり、また100msecを超えている設定条件が全体の半数あり、かなり大きなタイミングエラーといえる。一方、聴覚刺激の場合は、SMART機器による場合との差が12.9msecと視覚刺激の場合の差に比べて小さい場合もあったが、聴覚刺激の発生をSMART機器で行ったため、聴覚刺激の場合のタイミングエラーはMB、KB、BBによる反応取得に関連する遅延 T_2 と考えられ、聴覚刺激の発生にSMART機器を使わない環境の場合は聴覚刺激の発生に関連して遅延 T_1 が大きくなり、今回の実験で得られた反応時間の差よりも大きな値となることが予測される。

以上の結果と検討より、MB、KBならびにBBを使った反応時間の測定は、SMART機器のような1/1000秒の精度はなく、またタイミングエラーの大きさがパソコンや反応の取得で利用する機器によって異なるとともにタイミングエラーの大きさを実験の前に予測することが困難であり、これらのことから、1/1000秒の精度の反応時間の計測では利用できないと言える。ただし、反応時間に高い精度が必要なく1/10秒程度の精度で良い場合には利用しても良いと考える。

2. タッチによる反応時間計測の評価

BT、TPならびにSTによるタッチによる反応は、SMART機器との同時の計測はできなかったが、それらの装置を使って計測された反応時間の平均が視覚刺激と聴覚刺激の場合ともにSMART機器による反応時間の平均の倍以上となっ

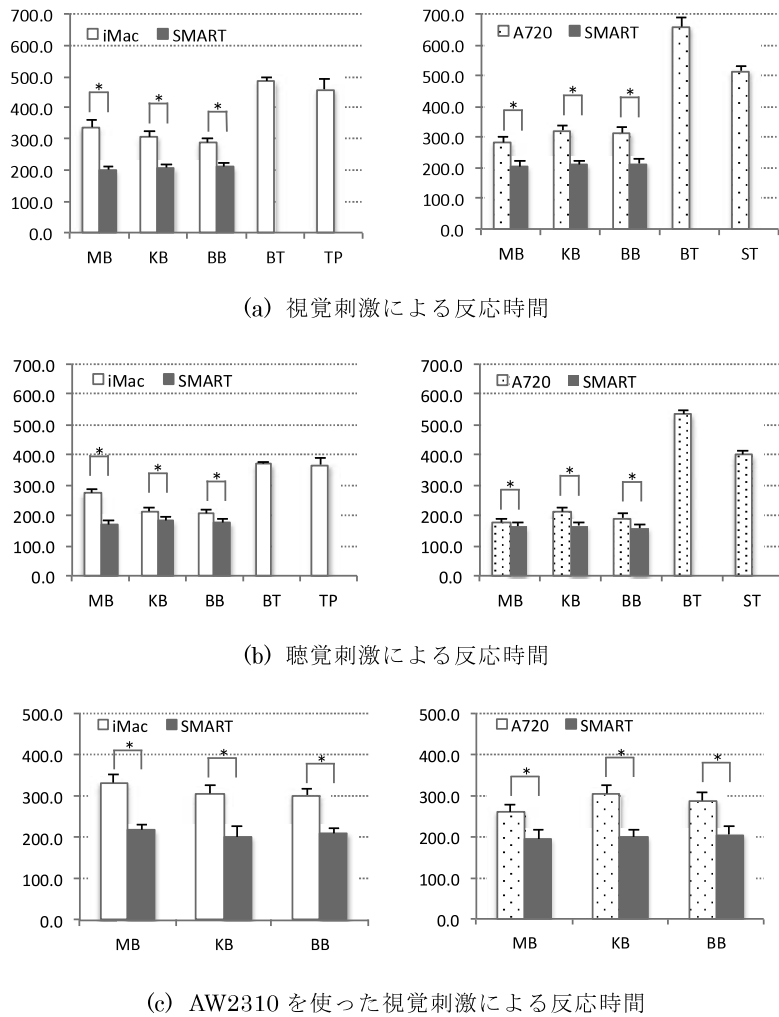


図3 単純反応課題の実施結果と反応時間のSMARTとの比較

*は、MB、KB、BBとSMARTの反応時間の間有意な差があったことを示す。なお縦軸は反応時間で単位はmsecである。

ていた。この大きな差の原因は、視覚刺激や聴覚刺激の提示方法がMB、KBならびにBBによる場合と同一であることから、BT、TPならびにSTによる反応取得に関連する遅延によるものと考えられる。SMART機器での反応の取得もタッチセンサを利用しているが、SMART機器の場合は、タッチ検出のために専用のマイコンを利用し、タッチ検出間隔を0.255msecになるように設定して高速なタッチの検出を実現している。一方、BT、TP、STにおけるタッチの検出は、それぞれの装置のデバイスドライバのプログラムコードやマルチタスク環境におけるタッチイベントの検出のタイミングに依存するために、200msec以上の大きなタイミングエラーを含むこととなったと考えられる。タッチによるコンピュータ操作は人が行うもので、タッチの感度が高すぎると人にとっては扱いにくいものになってしまい、このためタッチ検出までのタイムラグをプログラムコードで設定したと考えられる。

以上の結果と検討より、BT、TPならびにSTによるタッチによる反応は、SMART機器のような1/1000秒の精度は

なく、またタイミングエラーの大きさがパソコンや反応の取得で利用する機器によって異なるとともに実験を行う前に予測することが困難であり、SMART機器との反応時間の差も200msecを超えていることから、1/1000秒の精度のみならず1/10秒の精度の反応時間の計測でも利用できないと言え、反応時間を計測する装置としては適していないと考える。

おわりに

本論文では、最近のコンピュータ技術の発達により変化しつつあるパソコンならびに入力装置を利用して視覚刺激と聴覚刺激を利用した単純反応時間課題を実行し、計測された反応時間から最近のパソコン環境の反応時間計測の性能を評価した。この結果、最近のパソコンとBluetooth接続によるマウスやキーボード、USB接続のボタンスイッチを使って反応時間を計測する場合、SMART機器で実現している1/1000秒精度の計測は困難で、高々1/10秒の精度の

計測しか行えないことを示した。また最近流行になりつつあるタッチインタフェースはタイミングエラーが200msecを超える大きな値となっており、反応時間を取得する方法としては適していないことを明らかにした。

以上のことから、コンピュータ技術が発達し、様々な新しい周辺機器が登場した場合、それらの機器を反応時間の計測で利用するには十分な注意が必要で、1/1000秒の精度を保証した計測を行うためにはSMART機器のような装置が必須であると考えられる。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費基盤研究（C）（課題番号22500466）、ならびに平成24年度札幌医科大学医療人育成センター「教育・研究への新しい取り組み」の助成を受けて実施した。

文 献

- 1) Plant, R. R., Turner, G.: Millisecond precision psychological research in a world of commodity computers: New hardware, new problems? Behavior Research Methods 41: 598-614, 2009
- 2) Krantz, J. H.: Tell me, what did you see? The stimulus on computers. Behavior Research Methods, Instruments & Computers 32: 221-229, 2000
- 3) Wiens, S., Fransson, P., Dietrich T., et. al.: Keeping it short: a comparison of methods for brief picture presentation. Psychological Science 15: 282-285, 2004
- 4) Plant, R. R., Hammond, N., Whitehouse, T.: How choice of mouse may affect response timing in psychological studies. Behavior Research Methods, Instruments & Computers 35: 276-284, 2003.
- 5) Forster, K. I., Forster, J. C.: DMDX: A Windows display program with millisecond accuracy. Behavior Research Methods Instruments & Computers 35: 116-124, 2003
- 6) Plant, R. R., Hammond, N., Turner, G.: Self-validating presentation and response timing in cognitive paradigm: How and why. Behavior Research Methods, Instruments & Computers 36: 291-303, 2004
- 7) McKinney, C. J., MacCormac, E. R., Welsh-Bohmer, K. A.: Hardware and software for tachistoscopy: How to make accurate measurements on any PC utilizing the Microsoft Windows operating system. Behavior Research Methods, Instruments & Computers 31: 129-136, 1999
- 8) De Clercq, A., Crombez, G., Buysse, A., et. al.: A simple and sensitive method to measure timing accuracy. Behavior Research Methods, Instruments & Computers 35: 109-115, 2003
- 9) Ohyanagi, T., Sengoku, Y.: A solution for measuring accurate reaction time to visual stimuli realized with a programmable microcontroller. Behavior Research Methods 42: 242-253, 2010
- 10) 佐藤愛子: 感覚・知覚測定における測定値変動と測定の精度. 基礎心理学研究, 4: 27-37, 1985