

Interference control, working memory capacity, and cognitive abilities: A latent variable analysis

Nash Unsworth

University of Georgia, United States

Department of Psychology, University of Georgia, Athens, GA 30602-3013, United States.

Intelligence Volume 38, Issue 2, March-April 2010, Pages 255-267

e-mail address: nunswor@uga.edu

The present study examined whether various indices of interference control were related to one another and to other cognitive abilities. It was found that the interference control measures were weakly correlated and could form a single factor that was related to overall memory performance on the tasks as well as to measures of working memory capacity and fluid and crystallized intelligence. Furthermore, it was found that both working memory capacity and memory performance mediated the relation between interference control and intelligence and both accounted for variance in intelligence over and above that accounted for by interference control. These results suggest that interference control is an important cognitive construct that is related to other cognitive abilities. These results have implications for a number of areas that rely on the notion of interference control as an explanatory construct.

Интерференционный контроль, объем рабочей памяти и когнитивные способности: анализ латентных переменных.

В данном исследовании рассматривается вопрос, являются ли различные показатели интерференционного контроля связанными друг с другом и другими когнитивными способностями. Было установлено, что показатели интерференционного контроля слабо связаны друг с другом и могут образовывать единый фактор, связанный с общей продуктивностью памяти, а также с показателями объема рабочей памяти, флюидным и кристаллизованным интеллектом. Кроме того, было установлено, что и объем рабочей памяти, и продуктивность памяти опосредуют связь между интерференционным контролем и интеллектом, составляя дисперсию в интеллекте сверх того, что приходится на интерференционный контроль. Эти результаты предполагают, что интерференционный контроль – важный когнитивный конструкт, связанный с другими когнитивными способностями. Эти результаты обеспечивают следствия для ряда областей, которые полагаются на понятие интерференционного контроля как на объяснительный конструкт.

Способность контролировать свою память - важный аспект когнитивных способностей, представляющий интерес для исследователей этой области. Более выраженная способность управлять аспектами запоминания, предполагает больший успех в выполнении ряда задач на память и ситуациях, требующих эффективную систему памяти.

Интерференционный контроль и когнитивные способности.

Одна из функций, которым в последнее время уделялось большое внимание в исследованиях, является способность управлять интерферирующей информацией в рабочей памяти. В частности, недавние работы предполагают, что способность справиться с интерференцией, или конфликтом ранее представленной информации, которая была когда-то релевантна, но в данный момент нерелевантна, - является одним из ключевых компонентов рабочей памяти (WM) и одной из причин, почему задания на WM обуславливают успешность во многих когнитивных задачах высокого уровня. Предполагается, что релевантные

и нерелевантные репрезентации конкурируют за ограниченный доступ в WM, требуя от индивидуума или предотвращения первоочередного доступа этих нерелевантных репрезентаций, или избавления от них, как только они получили доступ.

Способность эффективно бороться с интерференцией - важный управляющий процесс, который используется в ряде задач на память и может быть одним из важных факторов, определяющих индивидуальные различия в когнитивных способностях в широком смысле. IC (интерференционный контроль) - важный объяснительный конструкт в ряду исследований. В этой работе представлен довольно стандартный взгляд на IC, в котором способность справляться с интерферирующими репрезентациями в WM требуется в задачах на память и во многих реальных ситуациях. В предыдущих исследованиях доказательства того, что различные показатели IC связаны друг с другом и когнитивными способностями, являются на данный момент несколько смешанными, поэтому в данной работе представлена попытка рассмотреть, в какой степени показатели IC связаны друг с другом и с мерой других когнитивных способностей.

Цель: изучить индивидуальные различия в способностях интерференционного контроля и связь последних с другими когнитивными способностями.

Для исследования IC были выбраны три задачи:

- 1) Brown-Peterson task с переключением категорий для оценки накопления и освобождения проактивной интерференции.
- 2) cued-recall directed forgetting task
Тест на направленное забывание с подсказкой-напоминанием (Tolan, Tehan), с категорией подсказок для оценки направленного забывания и чувствительности к интерференции.
- 3) A recent probes recognition task
Для оценки чувствительности к интерференции и конфликта с информацией из предыдущих испытаний. Тест широко использовался Jonides для исследования нейронного субстрата интерференции и конфликта в рабочей памяти, а также исследовались возрастные различия в этих процессах.

Эти три задачи были выбраны потому, что их условия теоретически требуют сильного IC, а также есть условия, где он, вероятно, не нужен. Поэтому возможно вычислить разницу, обеспечивающую показатели специфических способностей IC, которые должны быть связаны друг с другом и другими когнитивными способностями.

Кроме того, исследуя отношения между IC и когнитивными способностями, второй вопрос в данном исследовании: степень, в которой WMC опосредует связь между IC и когнитивными способностями. В частности, хотя было предположено, что сопротивление интерференции - важный фактор, определяющий WMC, и возможная причина корреляций между WMC и другими когн. способностями, также было предположено, что возможности WMC обусловлены другими управляющими механизмами.

Общие цели исследования:

- 1) Исследовать степень, в которой показатели IC связаны друг с другом и образуют единый латентный фактор. Как было отмечено выше, результаты предыдущих исследований несколько смешанны в определении того, связаны ли различные показатели IC друг с другом и формируют ли единый фактор.
- 2) Исследовать степень, в которой фактор IC связан с другими когнитивными способностями: WMC и интеллект. Предыдущие исследования предполагают, что способности IC является важным фактором других когнитивных способностей, но опять же результаты смешаны.
- 3) Исследовать степень, в которой фактор IC составляет общую дисперсию между измерениями WMC (или памятью в более широком смысле) с работой интеллекта,

или составляют ли WMC и другие задачи на память дисперсию в работе интеллекта сверх того, что составляет IC. В общем, составляет ли IC полную дисперсию между WMC и интеллектом или только часть дисперсии?

Методы: конфирматорный факторный анализ и моделирование структурными уравнениями.

Выборка: всего 161 участник (61% жен), университет Джорджии. Возраст 18-35 ($M=19.19$, $SD=1.71$), каждый был индивидуально протестирован в двух лабораторных сессиях продолжительностью около двух часов.

Процедура.

После получения инструкции, участники выполнили Operation span (Ospan task), Symmetry span (Symspan) task, Reading span (Rspan) task, краткий тест вербальных аналогий, версия теста Терстоуна числовых рядов, версия теста Brown-Peterson с категорией переключения.

На втором этапе все участники завершили версию recent probes recognition task (Nelson, 2003), a cued-recall directed forgetting task (Tolan, Tehan, 1999), a brief paper pencil vocabulary test, a brief paper pencil general knowledge test.

WMC задания.

Ospan

Участники решали серию математических (арифм.) операций, пока старались запомнить набор несвязанных букв (F,H,L...).

Symspan

В этом задании требовалось запомнить последовательности красных квадратов в матрице во время выполнения решения задач на симметрию (symmetry judgment task).

Rspan

Участники должны были читать предложения, определяя, имеют ли они смысл, и пытаясь вспомнить при этом тот набор несвязанных букв, предъявлявшийся в Ospan. Не имеющие смысла предложения были сделаны заменой одного слова (т.е. без замены слова предложение имело бы смысл).

Задания на флюидный интеллект.

Вербальные аналогии, числовые ряды.

Задания на кристаллизованный интеллект.

Словарь. 20 словарных слов, нужно выбрать лучший синоним (из пяти возможных), что соответствует данному слову. Во второй части задания 10 словарных слов и выбор наилучшего антонима (из 5 возможных).

Общие знания.

24 общих вопроса, нужно выбрать лучший ответ (из 4 возможных) на вопрос. Темы включали амер. политику, спорт, музыку, литературу, искусство, экономику.

Задачи на IC.

Brown-Peterson

Для решения задания были представлены 12 списков из 5 слов, каждый разбит на 3 блока, по 4 списка в блоке. Все слова блока принадлежат одной семантической категории (фрукты, животные, профессии). После последнего слова в списке участники должны были вести обратный счет тройками так быстро и точно, как они могли, от трехзначного числа, появившегося на экране. В конце задачи-дистрактора, участники имели 15 сек, чтобы вспомнить максимально возможное количество слов из списка в любом порядке.

Cued-recall directed forgetting

В решении этого задания участникам был представлен блок из 4 серийно представленных слов, нужно было вспомнить слова из наиболее недавнего представленного списка, который соответствует конкретной подсказке. Каждое слово представлялось на 1 сек. Сразу после представления последнего слова и до подсказки, давалась задача-дистрактор на 8 сек, в которой было 3-значное число (2 сек) и нужно было распределить числа в порядке убывания.

Recent probes recognition

В данной задаче участникам были представлены 4 буквы на экране одновременно, затем короткий промежуток времени (1,5; 3; 6 сек) удержания, после чего появлялась на экране одна буква символа-зонда. При предъявлении зонда, нужно было указать, появлялась ли буква в целевом наборе. В половине случаев зонд был членом данного множества и требовал позитивного ответа.

Результаты.

Описательные статистики и корреляции в таблице 1.

В соответствии с предыдущими исследованиями, надежность измерения интерференции была довольно маленькой. Сначала в CFA фактор IC был сформирован четырьмя показателями, нагружающими его. Отдельные факторы WMC, gF, gC также были сформированы соответствующими маркерами нагрузки (только на эти факторы). 4 латентных переменных (INT - фактор IC, WMC, gF, gC) коррелировали.

Модель представлена на рис.1. Как видно, все факторы значимо нагружены на их предполагаемых конструктах, все латентные переменные значимо коррелируют. Как и ожидалось, фактор IC умеренно связан с WMC, а также с gF, но более слабая связь с gC. Как это было предположено в предыдущих исследованиях, WMC и gF были умеренно связаны, но WMC и gC слабо связаны, хотя gF, gC сильно связаны между собой. Альтернативная модель также была проверена на предмет того, могут ли WMC и INT образовывать единый фактор (таблица 2), фит модели был значительно хуже, чем предыдущий CFA, в котором INT, WMC были отдельными факторами. Далее, затем, чтобы изучить возможные эффекты медиации WMC на INT для интеллекта было проведено моделирование структурными уравнениями, в которой INT является предиктором WMC, gF, gC; и WMC - предиктор gF, gC. Как и предполагалось, общая дисперсия между WMC и интеллектом полностью приходится на INT, и в этом случае WMC не должен иметь однозначную связь с интеллектом (gF). Возможно также, что WMC имеет однозначную связь с интеллектом. Результирующая модель на рис.2.

Учитывая сильную связь между gF, gC, что, возможно, не зависит от WMC, ошибки отклонения для gF, gC коррелируют. Как видно, INT учитывает дисперсии в WMC, и WMC учитывает дисперсию в gF. Однако прямого воздействия интерференционного контроля на gF и gC практически нет (незначимое). Итак, WMC опосредует эффект между INT и gF. Для определения того, есть ли дополнительная дисперсия в gF от WMC сверх того, что дает INT, была проведена двухступенчатая регрессия, в которой INT и WMC обуславливающие gF, посмотрели на скрытые корреляции. Таким образом, WMC не только является медиатором между INT и gF, но и также объясняет дисперсию сверх того, что приходится на общую дисперсию с INT. Значит, связь между WMC и интеллектом лишь частична в общей дисперсии с INT.

Подобные модели использовались для исследования того, что произойдет, как только продуктивность памяти на интерференционных пробах, будет добавлены в модель. Продуктивность памяти на Б-П., тесте с подсказками, с "зондом" формируют общий латентный фактор, который добавляется в предыдущий CFA, состоявший из латентных факторов INT, WMC, gF, gC. Результирующая модель на рис.3. Все факторные на-

грузки и корреляции значимы. Из-за низкой достоверности (надежности), связанной измерением INT, есть станд.ошибки, связанные с каждым показателем, и они меньше 0,12.

Общая продуктивность памяти Mem была существенно связана с INT, WMC, gF факторами, но более слабо связана с gC. Это согласуется с тем, что точность памяти в этих заданиях похожа на точность оценки в задачах на WMC, и что вклад дисперсии общей точности памяти приходится на индивидуальные различия в INT. Также проверили, могут ли INT и Mem образовать один фактор. Провели линейное структурное моделирование для выяснения, будет ли Mem медиатором между INT и другими латентными факторами. Показано на рис.4, что Mem не просто медиатор между INT и gF, он также учитывает дисперсию сверх того, что приходится на INT. Таким образом, связь между общей точностью памяти в этих заданиях и другими когнитивными способностями частично обусловлена способностями INT, но также за счет других отдельных источников дисперсии.

Учитывая высокую корреляцию между Mem и WMC, и тот факт, что они оба составляют связь между INT и интеллектом, последние модели, рассмотрели степень, в которой Mem и WMC могут представлять один фактор, и как этот фактор будет связан с двумя факторами интеллекта. Однако 2-факторная модель не показала значимого улучшения фита, поэтому для упрощения была сохранена 1-факторная модель. Далее, оба gF и gC как латентные переменные были добавлены в один из факторов модели, чтобы определить, как MemC будет связан с этими двумя компонентами интеллекта. На рис.5 показана модель. Все измерения нагружают значимо их предполагаемые конструкты, все лат. переменные значимо коррелируют. В соответствии с другими моделями, gF умеренно коррелирует с обоими MemC, gC, но последние 2 фактора слабо связаны. Значит задачи MemC можно рассматривать как измерение той же лат.переменной, которая высоко связана с gF, но слабо - с gC. Кроме того, анализ показывает, что существует по крайней мере два источника дисперсии, приходящейся на gF: связанная с измерением памяти и gC.

Учитывая высокую корреляцию между gF и gC другие модели объединяют их в один фактор. Результаты такие же, если они как два фактора. В частности, WMC, Mem, INT связаны с g, но WMC, Mem - медиаторы между INT и g. WMC связана с g, INT с WMC, но INT уже не связано с g, когда было уже включено WMC. Результаты одинаковые при рассмотрении gF и gC как отдельных, так и в качестве одного фактора. Но лучше разделять, т.к. это дает более сильные корреляции с другими факторами.

Общее обсуждение.

Целью исследования было изучить степень, в которой различные показатели интерференционного контроля связаны друг с другом и другими когнитивными способностями. Установили, что показатели IC слабо связаны друг с другом и образуют единую латентную переменную в соответствии с предыдущими исследованиями. Кроме того, эта латентная переменная связана с другими лат. переменными, включая общую продуктивность памяти (Mem), WMC, gF и в меньшей степени gC. В соответствии с прежними теориями было показано, что IC охватывает несколько задач, и эта общая дисперсия связана с рядом других важных когнитивных конструкций, вероятно, в связи с необходимостью общего управления процессами на всех уровнях. Также обнаружилось, что дисперсия между INT и двумя факторами интеллекта полностью приходится на WMC и Mem, полагая, что эти конструкты включены в ту же дисперсию, что и INT, плюс дополнительная отдельная дисперсия интеллекта. Наконец, показано, что WMC и Mem в значительной степени составляют один и тот же конструкт, который высоко связан с gF, но слабо с gC. Эти исследования связаны с работами других авторов, предполагающих, что WMC, gF, Mem, INT, вероятно, отражают одно измерение

когнитивных способностей в том, что требуют высоких способностей когнитивного контроля.

Значительное количество общей дисперсии между этими конструктами, вероятно, отражает необходимость общего управления процессами в каждом из них.

Итак, интерференционный контроль - важный когнитивный конструкт, проявляющийся в заданиях на память, и связан с другими когнитивными способностями, но при этом он только составляет часть дисперсии в таких конструктах, как gF. В частности, то, что на WMC и Met приходится дисперсия сверх того, что учитывает INT, предполагается, что в показатели включены дополнительные процессы, связанные с аспектами интеллекта. Точно так же предполагается, что общая продуктивность памяти, вероятно, определяется частично способностями INT, но также другими важными механизмами контроля памяти (кодирование, порождение подсказок, мониторинг поиска), которые необходимы в ситуациях, в которых интерференция не может играть решающую роль.

Работа вносит вклад в общие исследования на тему того, что определенные функции управления связаны друг с другом и другими когнитивными способностями, и имеют важное значение для области, опирающуюся на идею IC как объяснительного конструкта. Итак, способность ИК отражает способность извлекать релевантные задачи репрезентации и следить за возможными конфликтами между интерферирующей информацией. Люди с более слабыми способностями ИК не только активируют нерелевантные задачи репрезентации, но и хуже отслеживают потенциальные конфликты среди активированных репрезентаций, которые могут быть нужны в разных ситуациях.

Table 1
Descriptive statistics and correlations for all measures.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. BPI	-													
2. Lures	.28	-												
3. Fam	.07	.07	-											
4. Resp	.24	.10	.30	-										
5. BPT1	-.07	-.18	-.12	-.09	-									
6. CRBlk1	-.23	-.28	-.06	-.16	.21	-								
7. RPPoNeg	-.05	-.22	-.01	-.07	.13	.28	-							
8. Ospan	-.13	-.27	-.14	-.19	.42	.25	.23	-						
9. Symspan	-.16	-.20	-.01	-.07	.16	.24	.16	.26	-					
10. Rspan	-.30	-.16	-.02	-.16	.41	.29	.25	.51	.33	-				
11. NS	-.16	-.22	-.02	-.08	.21	.20	.06	.21	.23	.21	-			
12. Ang	-.04	-.12	-.16	-.14	.19	.23	.13	.20	.11	.28	.23	-		
13. GenK	-.08	-.03	-.16	-.20	.03	.13	.05	.08	.02	.20	.17	.40	-	
14. Vocab	.02	.08	-.13	-.12	.20	.08	.08	.16	.02	.19	.13	.31	.38	-
Mean	.20	.83	.03	.06	.90	.89	.92	.81	.70	.79	.64	.64	.61	.44
SD	.17	1.07	.05	.05	.10	.13	.04	.12	.17	.15	.16	.16	.15	.17
Rel	.42	.64	.40	.41	.62	.70	.75	.80	.72	.69	.67	.63	.68	.63
Skew	.51	1.46	1.04	1.24	-.97	-1.36	-1.60	-.86	-1.23	-.66	.17	-.32	-.39	.65
Kurtosis	.20	2.26	1.86	2.04	.23	1.56	2.78	.56	2.25	.25	-.93	-.05	-.21	.26

Note. Correlations $> .16$ are significant at the $p < .05$ level; correlations $> .20$ are significant at the $p < .01$ level. BPI = interference index from Brown-Peterson task; Lures = number of lure errors in the cued-recall task; Fam = Familiarity based interference index from the recent probes task; Resp = response based interference index from the recent probes task; BPT1 = trial 1 accuracy in the Brown-Peterson task; CRBlk1 = accuracy on 1 block trials in the cued-recall task; RPPoNeg = accuracy on positive and non-recent negative trials in the recent probe recognition task; Ospan = operation span; Symspan = symmetry span; Rspan = reading span; NS = number series; Ang = verbal analogies; GenK = general knowledge test; Vocab = vocabulary test; Rel = estimate of reliability. Reliability for all measures except BPI, Fam, and Resp were based on Cronbach's alpha. Reliability for BPI, Fam, and Resp was based on the reliability of the two measures contributing to the difference score (see Cohen & Cohen, 1983).

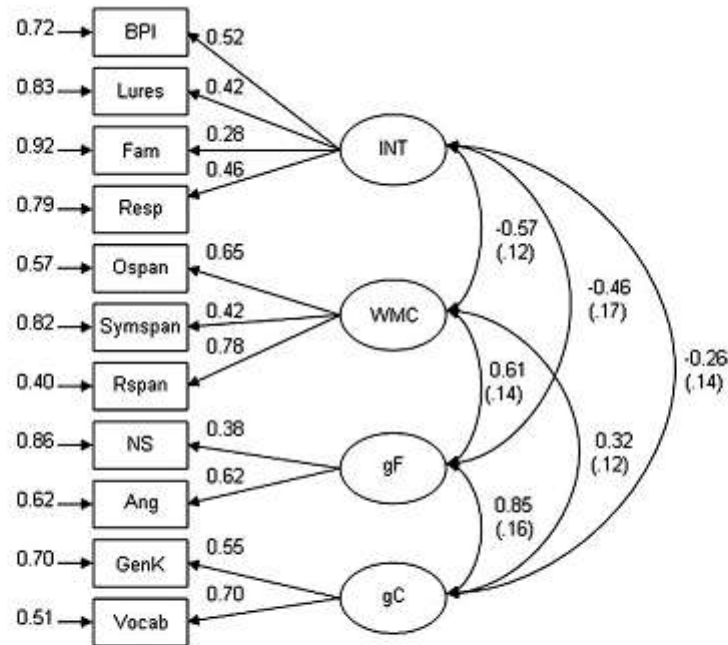


Fig. 1. Model for the interference indicators (INT), working memory capacity (WMC), general fluid intelligence (gF), and general crystallized intelligence (gC). Paths connecting latent variables (circles) to each other represent the correlations between the constructs, the numbers from the latent variables to the manifest variables (squares) represent the loadings of each task onto the latent variable, and numbers appearing next to each manifest variable represent error variance associated with each task. BPI = PI effect in Brown-Peterson; Lures = lure errors in cued-recall; fam = accuracy difference between familiar and non-recent negative trials; resp = accuracy difference between response conflict and non-recent negative trials; Ospan = operation span; Symspan = symmetry span; Rspan = reading span; NS = number series; Ang = verbal analogies; GenK = general knowledge test; Vocab = vocabulary test. All loadings and paths are significant at the $p < .05$ level. Numbers in parentheses are standard errors.

Table 2
Fit indices for all models.

Model	χ^2	df	p	χ^2/df	RMSEA	NNFI	CFI	SRMR
INT-WMC CFA	57.47	38	.02	1.51	.06	.92	.95	.06
INT-WMC Alt CFA	66.31	41	.00	1.62	.06	.88	.91	.07
INT-WMC SEM	57.47	38	.02	1.51	.06	.92	.95	.06
INT-Mem CFA	84.52	67	.05	1.26	.04	.95	.96	.06
INT-Mem Alt CFA	94.41	71	.03	1.33	.05	.94	.95	.06
INT-Mem SEM	50.81	38	.08	1.34	.05	.93	.95	.06
MemC One Factor	9.60	9	.38	1.07	.02	1.00	1.00	.04
MemC Two Factor	9.63	8	.29	1.20	.04	.99	.99	.04
MemC CFA	28.64	32	.64	.90	.00	1.00	1.00	.05

Note. RMSEA = root mean square error of approximation; NNFI = nonnormed fit index; CFI = comparative fit index; SRMR = standardized root mean square residual.

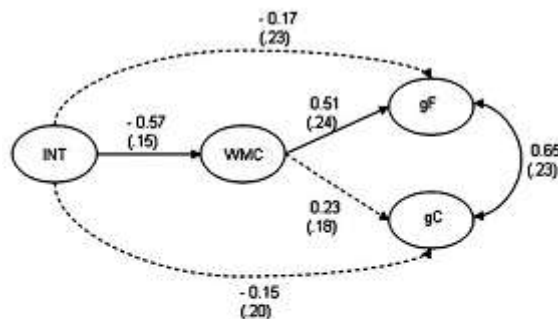


Fig. 2. Structural equation model examining the mediating effects of working memory capacity (WMC) on the relation between interference control (INT), and general fluid (gF) and general crystallized (gC) intelligence. Single-headed arrows connecting latent variables (circles) to each other represent standardized path coefficients indicating the unique contribution of the latent variable. The double-headed arrow connecting gF and gC represents the correlation between the residual variances for those two factors. Solid paths are significant at the $p < .05$ level, whereas dashed paths are not significant. Numbers in parentheses are standard errors.

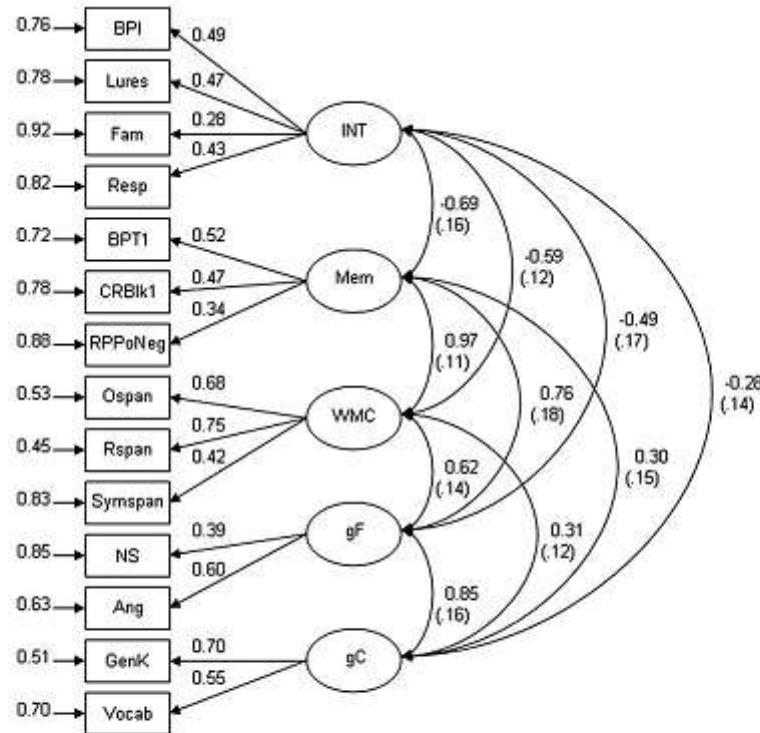


Fig. 3. Model for the interference indicators (INT), overall memory performance (Mem), working memory capacity (WMC), general fluid intelligence (gF), and general crystallized intelligence (gC). Paths connecting latent variables (circles) to each other represent the correlations between the constructs, the numbers from the latent variables to the manifest variables (squares) represent the loadings of each task onto the latent variable, and numbers appearing next to each manifest variable represent error variance associated with each task. BPI = PI effect in Brown-Peterson; Lures = lure errors in cued-recall; fam = accuracy difference between familiar and non-recent negative trials; resp = accuracy difference between response conflict and non-recent negative trials; BPT1 = accuracy on Trial 1 in the Brown-Peterson task; CRBlk1 = accuracy on one block trials in the cued-recall task; RPPoNeg = accuracy on positive and non-recent negative trials in the recent probe recognition task; Ospan = operation span; Symspan = symmetry span; Rspan = reading span; NS = number series; Ang = verbal analogies; GenK = general knowledge test; Vocab = vocabulary test. All loadings and paths are significant at the $p < .05$ level. Numbers in parentheses are standard errors.

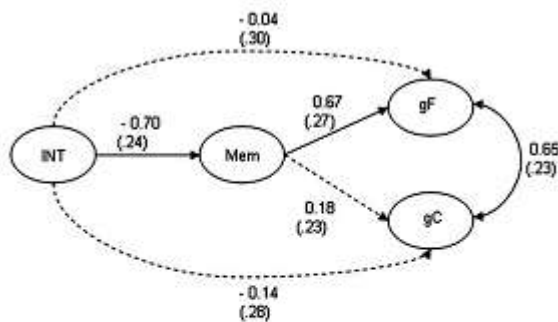


Fig. 4. Structural equation model examining the mediating effects of overall memory (Mem) on the relation between interference control (INT), general fluid (gF) and general crystallized (gC) intelligence. Single-headed arrows connecting latent variables (circles) to each other represent standardized path coefficients indicating the unique contribution of the latent variable. The double-headed arrow connecting gF and gC represents the correlation between the residual variances for those two factors. Solid paths are significant at the $p < .05$ level, whereas dashed paths are not significant. Numbers in parentheses are standard errors.

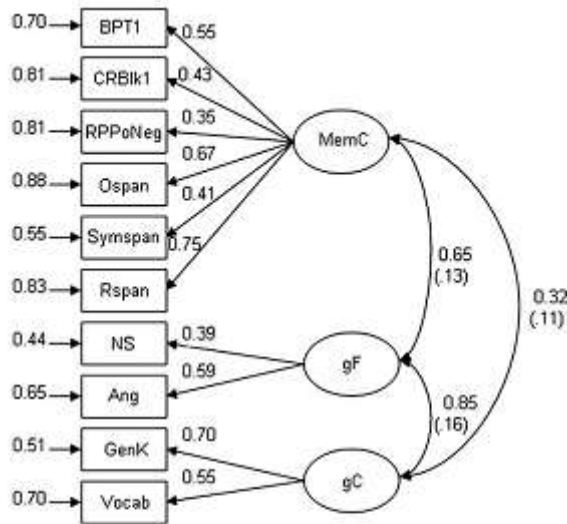


Fig. 5. Model for overall memory factor (MemC) combining Mem and WMC factors, general fluid intelligence (gF), and general crystallized intelligence (gC). Paths connecting latent variables (circles) to each other represent the correlations between the constructs, the numbers from the latent variables to the manifest variables (squares) represent the loadings of each task onto the latent variable, and numbers appearing next to each manifest variable represent error variance associated with each task. BPT1 = accuracy on Trial 1 in the Brown-Peterson task; CRBlk1 = accuracy on one block trials in the cued-recall task; RPPoNeg = accuracy on positive and non-recent negative trials in the recent probe recognition task; Ospan = operation span; Symspan = symmetry span; Rspan = reading span; NS = number series; Ang = verbal analogies; GenK = general knowledge test; Vocab = vocabulary test. All loadings and paths are significant at the $p < .05$ level.

Table 3
Correlations for the interference control measures corrected for unreliability.

Variable	1	2	3	4
1. BPI	-			
2. Lures	.54	-		
3. Fam	.17	.14	-	
4. Resp	.59	.20	.75	-

Note. Correlations $> .16$ are significant at the $p < .05$ level; correlations $> .20$ are significant at the $p < .01$ level. BPI = interference index from Brown-Peterson task; Lures = number of lure errors in the cued-recall task; Fam = Familiarity based interference index from the recent probes task; Resp = response based interference index from the recent probes task.