

高齢ドライバーの安全運転を支える認知機能に関する実証的研究.

○研究員 河野 直子^{1,2,3}
病院助教 岩本 邦弘¹
講師 鈴木 裕介³
医師 鵜飼 克行⁴
助教 梅垣 宏行³
准教授 入谷 修司¹
教授 尾崎 紀夫¹

¹ 名古屋大学大学院医学系研究科 精神医学分野

² 東京都健康長寿医療センター研究所

³ 名古屋大学大学院医学系研究科 地域在宅医療学・老年科学教室

⁴ 総合上飯田第一病院 老年精神科

(2012/3/10)

目 的

日本における運転人口は高齢化し、高齢者の運転免許保有数は若年者のそれを上回る状況にある（運転免許統計平成 23 年度版：警察庁, 2011）。日本および諸外国の調査において、自動車運転中の交通事故死者数は減少傾向にあるにもかかわらず、65 歳以上の運転者による死亡事故は増加している（Hakamies-Blomqvist et al., 2004）。今後、高齢運転者はさらに増加することが見込まれ、その対応策を早急に立案する必要がある。

とりわけ、高齢者の中でも、認知症など、認知機能低下のある者の危険運転が社会的関心を集めている。日本では、改正道路交通法によって、高齢運転者に対して認知機能検査が義務付けられた（道路交通法第 101 条の 4: 2009 年 6 月）。しかし、運転技能、そのものの評価はなされておらず、認知症の前段階や軽症認知症者に対してはその妥当性を疑問視する意見もある。図 1 は、先行研究の知見を元にした国際的なガイドラインの評価指針をモデル図としてまとめたものである。認知症の重症度を評価する臨床指標である CDR (Clinical Dementia Rating: Morris, 1993)において、2 点以上と判定される者は危険運転のリスクが高いため、一律運転中止すべきとする一方、CDR0.5～1 点の者については、集団としての危険運転の傾向は確認されているものの、個人のレベルではリスク水準が不均一でおしなべて運転適性なしと判断できず、詳細な評価を要としている（Iverson, et al., 2010）。ただし、後者のような、極軽度の認知機能障害の段階にある高齢者の中からより危険運転のリスクが高い者を推定するための評価因子の特定や重付けのための実証研究は十分ではない。

そこで、本研究では、「高齢の運転経験者において、どのような認知機能低下が自動車操作上の問題を惹起するか」に関して、各個人が有する中枢神経系の処理機構の特性差を含めて明らかにすることを目的とした。具体的には、運転技能と認知機能低下の関係を、認知症の前臨床層にあたる MCI (Mild Cognitive Impairment: 軽度認知機能障害)と診断された在宅高齢の運転者と認知機能健常な在宅高齢の運転者、および若年成人運転者を対象として検討した。

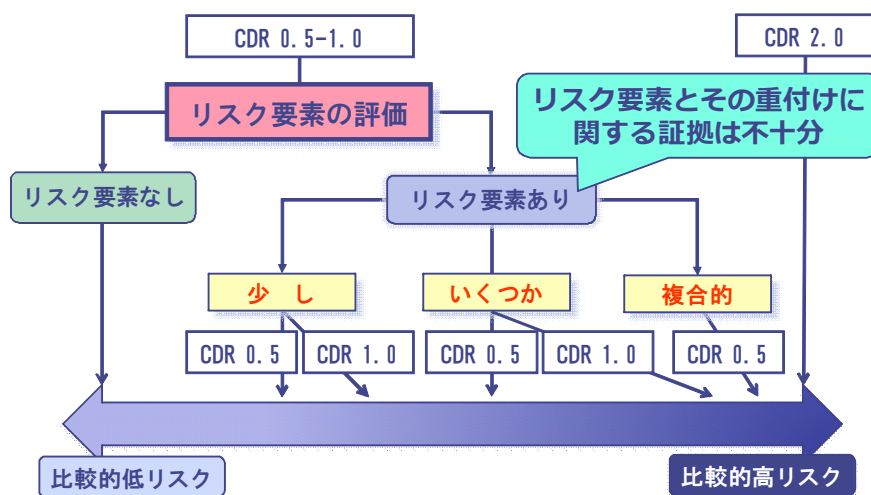


図 1 認知症のための危険運転のリスク評価に関する指針
(Iverson, et al., 2010 を参考に、河野作図)

方 法

1. 実験参加者

10年以上の運転歴を有し、日常的な自動車の運転を継続中の健常若年成人 (NYA) 19名、地域在住の健常高齢者 (NOA) 26名、もの忘れ外来への通院歴のある高齢の MCI 者 12名を対象とした。全員右利きであり、研究参加に十分な視聴力を有していた。健常参加者については、医師による構造化面接によって、日常生活機能が保たれており、精神科的疾患のないことが全員について確認された。また、高齢参加者については、Mini-Mental State Examination (Folstein et al., 1975) によって全般的な認知機能低下の有無を、改訂ウェクスラー式記憶検査のロジカルメモリー課題 (直後再生および遅延再生: Wechsler, 1987) によって記憶力障害の有無をスクリーニングし、操作的定義に合致する者のみで両群を構成した。表 1 に各群の基本特性を示す。

なお、全参加者が研究の説明を受け、文書による同意を表明している。また、本研究の実施については、名古屋大学医学部・大学院医学系研究科 生命倫理審査委員会にて承認されている。

2. 課 題

(1) 運転技能

運転技能の評価には、豊田中央研究所製のドライビング・シミュレータ (Uchiyama et al., 2003) を用いた。ドライビング・シミュレータは、パーソナル・コンピュータ内のプログラムをハンドル、ブレーキ、アクセルで構成された専用のコントローラで制御される構造であり、映像は液晶プロジェクターを用いてスクリーンに投影された。

具体的なドライビング・シミュレータ課題は、先行車との車間距離を安定的に維持することを求める「追従課題 (car-following)」、蛇行する車線から逸脱しないように 100 km/h で走行し続けることを求める「車線維持課題 (road-tracking)」、50km/h で走行時にランダムな順番で左右から飛び出すようプログラムされた物体に対するブレーキ反応潜時を評価する「急ブレーキ課題 (harsh-braking)」の 3 種類であった。

すべての実験参加者は、ドライビング・シミュレータに慣れるための十分な練習を行った後 (Kawano, et al, *in press*)、1 週間以内に、運転技能の評価に臨んだ。

表 1 対象者の基本特性：平均値±SD 値

	MCI		NOA		NYA	
Sex (female/male)	2/10		11/15		1/18	
Age (year)	71.75	(7.63)	70.04	(6.10)	39.32	(6.48)
Education (year)	13.44	(3.50)	14.40	(2.78)	16.58	(1.74)
<i>Cognitive characteristics</i>						
Mini-Mental State Examination	25.54	(2.91)	28.48	(1.42)		
Logical Memory: delayed recall	4.58	(3.65)	19.96	(5.26)		

aMCI = amnesic type of mild cognitive impairment, NOA = normal older adults, NYA = normal young adults.

(2) 認知機能

自動車運転と関連がある課題として先行報告のある以下の神経心理学的検査を、高齢の実験参加者に対して、追加実施した：時計描画課題、ウェクスラー式知能検査成人版の下位検査項目である数唱課題、修正版カラストループテスト (mST)、トレイル・メイキング・テスト (TMT) のパート A およびパート B (Lezak, 2004)。

全て、よく訓練された、同一の検査者が施行した。

(3) 脳イメージング

高磁場 MRI (3 テスラ) 装置を用い、脳の高解像度構造画像を撮像した。また、NIRS 装置を前頭部に装着し、ドライビング・シミュレータ課題と事象関連に皮質活動を計測した。

結果と考察

(1) 行動指標に関する検討

正常加齢および MCI が、運転技能に与える影響を確認するために、ドライビング・シミュレータの各課題成績を 3 群間で比較した。各群のドライビング・シミュレータ課題の成績を図 2 に示す。各課題について、一元配置の分散分析を用いて群間比較を行った。追従走行課題 (A: car-following) について主効果を認め ($p < .01$)、多重比較を行ったところ、MCI 群と NOA 群が NYA 群に比べて有意に低成績であり ($p < .01$)、MCI 群が NOA 群に比べて有意に低成績であった ($p < .01$)。車線維持課題 (B: road-tracking) についても主効果を認め ($p < .01$)、多重比較を行ったところ、MCI 群と NOA 群が、NYA 群に比べて有意に低成績であった ($p < .01$; $p < .01$)。MCI 群と NOA 群の間に有意な成績差は認められなかった ($n.s.$)。急ブレーキ課題 (C: harsh-braking) については、主効果を認めなかった ($n.s.$)。これらの結果は、高齢者群における病的な認知機能の低下は、追従走行課題の成績差として現れることを示す。他方、車線維持課題の成績は、正常な加齢変化によっても生じることを示す。

相関分析および多変量解析 高齢者群 (NOA 群および MCI 群) を対象として、追従走行の指標と各種認知課題との相関関係を分析したところ、TMT-A、TMT-B、および mST との間に中程度の正の相関関係を認めた ($\rho = .468, p < .01$; $\rho = .538, p < .01$; $\rho = .383, p < .01$)。他方、時計描画課題、数唱課題との間には統計的に有意な相関関係を認めなかった ($\rho = -.176, n.s.$; $\rho = -.308, n.s.$)。さらに、追従走行の課題成績との関係が確認された認知課題が、記銘力障害による影響を超えて運転技能を予測するの可否を確認するために、ロジカルメモリー課題の遅延再生成績を調整変数とする重回帰分析を行った。その結果を表 2 にまとめて示す。これらの結果は、TMT-B のみが、記銘力障害の程度を超えて追従走行の課題成績を予測可能であることを示す ($\beta = .395, p < .01, R = .629, \text{adjusted } R^2 = .359$)。

ドライビング・シミュレータの追従走行課題で捉えられるような運転技能が、日常的な交通条件におけるどのような危険運転と関連が深いのかについては、本研究だけでは推測できないが、高齢者における記銘力低下を中核とするタイプの MCI は、正常加齢とは異なる影響を運転技能に与えていると考えられる。また、そうした運転技能の変化は、TMT-B によって捉えられるような、2 種類以上の情報に対する視覚的注意を維持しつつ、適切に切り替える認知機能の障害によって生じていると考えられる。

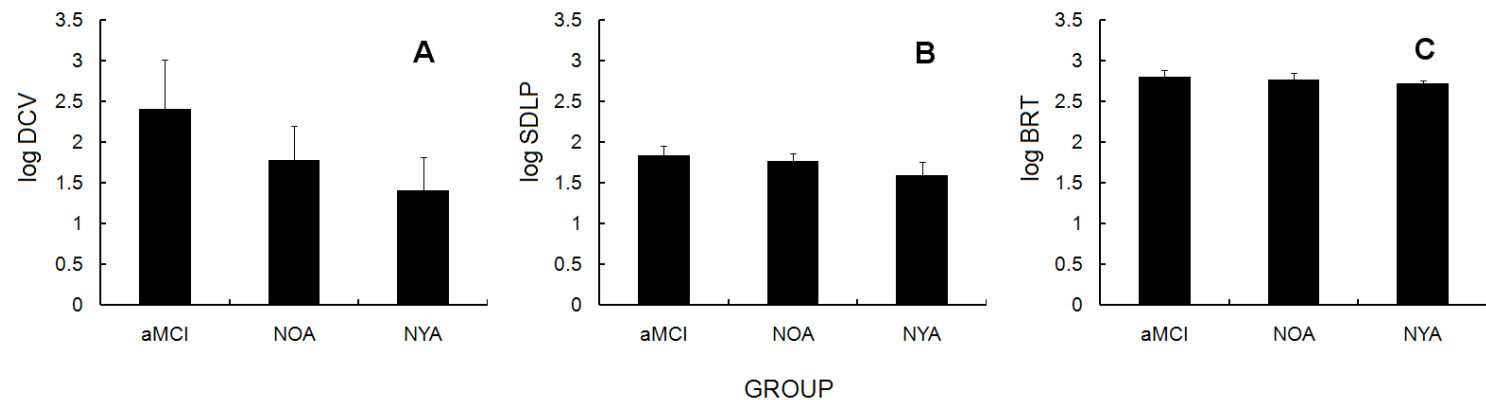


図2 群別のドライビング・シミュレータ課題の成績：平均値±SD 値

Figure A shows for the car-following task, figure B shows for the road-tracking task, and figure C shows for the harsh-braking task. DCV = distance coefficient of variation, SDLP = standard deviation of the lateral position, BRT = brake reaction time, aMCI = amnesic type of mild cognitive impairment, NOA = normal older adults, NYA = normal young adults.

表2 対象者の基本特性：平均値±SD 値

	<i>R</i>	<i>R</i> ²	<i>adjusted R</i> ²	<i>B</i>	<i>β</i>	<i>P</i>	95% confidence interval of <i>B</i>		
TMT-A	0.577	0.333	0.292	0.011	0.167	0.318	-0.011	-	0.033
Logical Memory: delayed recall				-0.069	-0.475	0.007	**	-0.118	-0.021
TMT-B	0.629	0.396	0.359	0.007	0.395	0.040	*	0.000	0.013
Logical Memory: delayed recall				-0.042	-0.290	0.124		-0.097	0.012
Modified Stroop Test	0.574	0.329	0.290	0.023	0.260	0.140		-0.008	0.053
Logical Memory: delayed recall				-0.057	-0.382	0.033	*	-0.109	-0.005

TMT = Trail Making Test.

(2) 脳イメージング指標と追従走行課題の指標の関連分析 (解析の中間報告として)

(1)の被験者の内、脳 MRI 構造画像の撮影を行うことができた健常若年成人 17 名、健常高齢者 17 名、MCI 6 名について、加齢が及ぼす脳形態変化と運転課題成績との関連を検討した。得られた T1 強調画像を Voxel-Based-Morphometry (VBM)の最適化法を用いて画像処理し、全脳の灰白質体積を Statistical Parametric Mapping (SPM) 2 により統計処理して、灰白質体積が減少している領域を、各群間で比較した。

健常成人群と健常高齢者群との比較 NYA 群と比較し、NOA 群で有意に灰白質体積が減少していた領域として、表 3 に示す領域を得た ($FEW < 0.05$, $k > 500$ の統計水準を設定)。さらに、得られた関心領域 (Region of Interest: ROI) の体積を測定し、各群における追従走行の課題成績との偏相関を、全脳体積を共変量として投入したうえ、算出した。有意な相関が得られた領域を、図 3 に示す。

NOA 群において、追従走行課題の指標と両側下前頭回の灰白質体積との間に負の相関が認められた。NYA 群では有意な相関が認められなかったことから、加齢の影響により、両側下前頭回の灰白質体積が減少し、その結果として、追従走行の課題成績が低下してくる可能性が示唆される。fMRI を用いた先行研究は、下前頭回は、自動車の停止、追突回避、方向転換などの運転動作と関連する一領域として報告する (Spiers et al., 2007)。本研究の結果は、こうした機能画像研究の結果と矛盾しない。

健常成人群と MCI 群との比較 ついで、MCI 群に的をしぼり検討を行った。NYA 群と比較し、MCI 群で有意に灰白質体積が減少している領域として表 4 にある領域を得た ($FEW < 0.05$, $k > 500$ の統計水準を設定)。NYA と比較し、さらに灰白質体積が有意に減少する領域が増加することが認められた。得られた ROI の体積を測定し、各群における追従走行の課題成績との偏相関を、全脳体積を共変量として投入したうえ、算出した。有意な相関が得られた領域を、図 4 に示す。

NYA 群において、追従走行課題の指標と右被殻の体積に有意な負の相関が認められた。MCI 群では同様の相関は認められなかった。MCI 群のサンプル数が少ないため、病的加齢の影響は明らかにならなかったが、NYA 群においては、大脳基底核体積が追従走行の課題成績に影響している可能性が示唆された。fMRI を用いた先行研究は、被殻が方向転換等の運転操作との関連すること指摘する (Spiers et al., 2007)。追従走行課題では、進行方向に対する前後の車間距離の調整をアクセルとブレーキの踏み替えという左右の自己の身体運動に転換したうえで行うことが要求される。こうした視空間情報を自己の身体運動として産出する中枢神経機構の一端を被殻など大脳基底核領域が担っている可能性が十分にあり、今後、中心的に検討を進めたい考えである。

健常高齢者群と MCI 群との比較 NOA 群と比較し、MCI 群で有意に灰白質体積が減少している領域として表 5 にある領域を得た ($uncorrected < 0.001$, $k > 0$ の統計水準を設定)。健常高齢者群と比較し、MCI 群では両側島および左中心後回において灰白質体積が有意に減少することが認められた。得られた ROI の体積を測定し、各群における追従走行課題の指標との偏相関を、全脳体積を共変量として投入した上で、算出した。その結果、有意な相関を示す領域は認められなかった。

表3 健常若年成人と比較し、健常高齢者で有意に灰白質体積が減少している領域

領域	ブロードマン領野	Zスコア	MNI 座標
右下前頭回	44	7.29	(53, 9, 19)
右島	13	6.76	(45, -6, 1)
右前部帯状回	25	6.26	(2, 6, -8)
左上側頭回	22	6.13	(-44, -21, 3)
左下前頭回	9	6.03	(-47, 6, 29)
右後頭葉楔部	30	5.85	(7, -65, 4)
左後頭葉楔部	30	5.84	(-6, -64, 5)

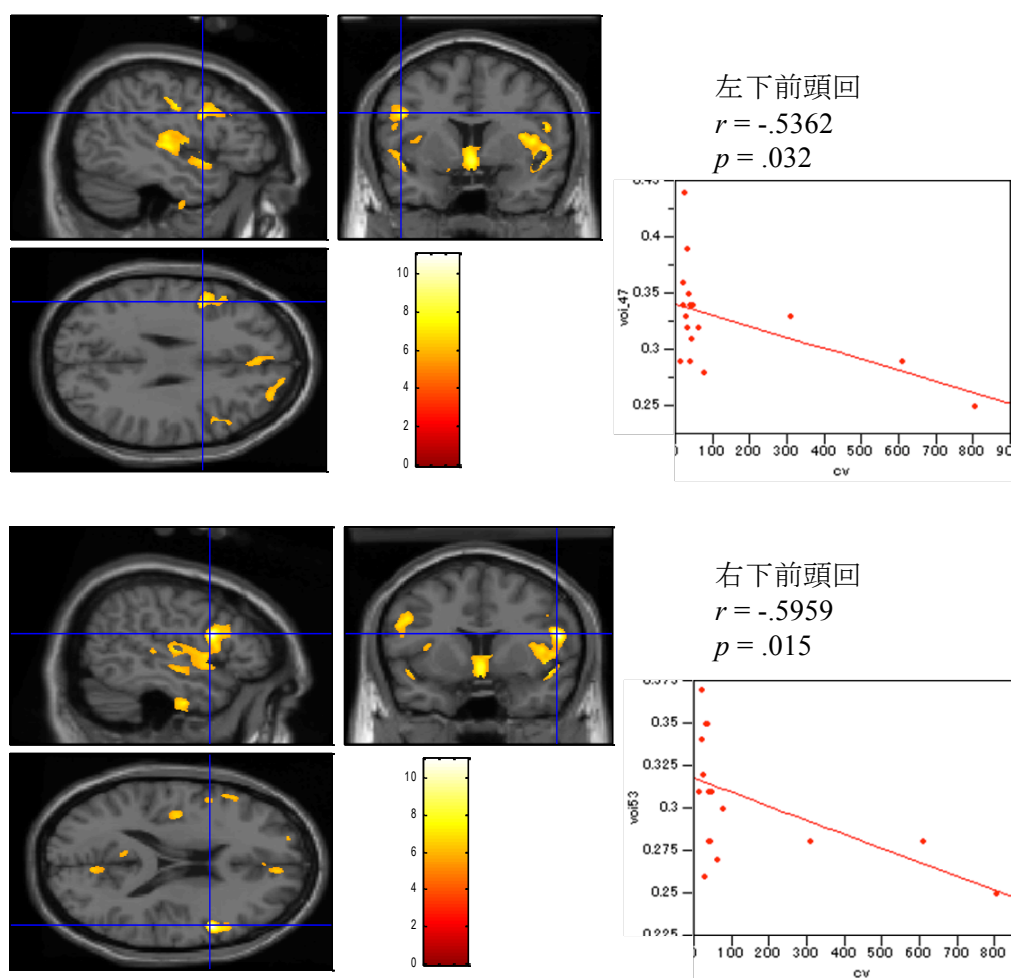


図3 追従走行課題の成績と灰白質体積との関連

表4 健常若年成人と比較し、MCI 者で有意に灰白質体積が減少している領域

領域	ブロードマン領野	Z スコア	MNI 座標
右下前頭回	44	6.93	(53, 9, 19)
左島	13	6.90	(-41, -5, 6)
右被殻		5.17	(18, 8, -4)
左鈎	20	5.09	(-29, -9, -41)
左中心前回	6	4.78	(-47, 13, 34)
右中後頭回	18	4.61	(19, -90, -15)
右上前頭回	9	4.31	(29, 48, 36)
左上側頭回	22	4.12	(-60, -58, 14)

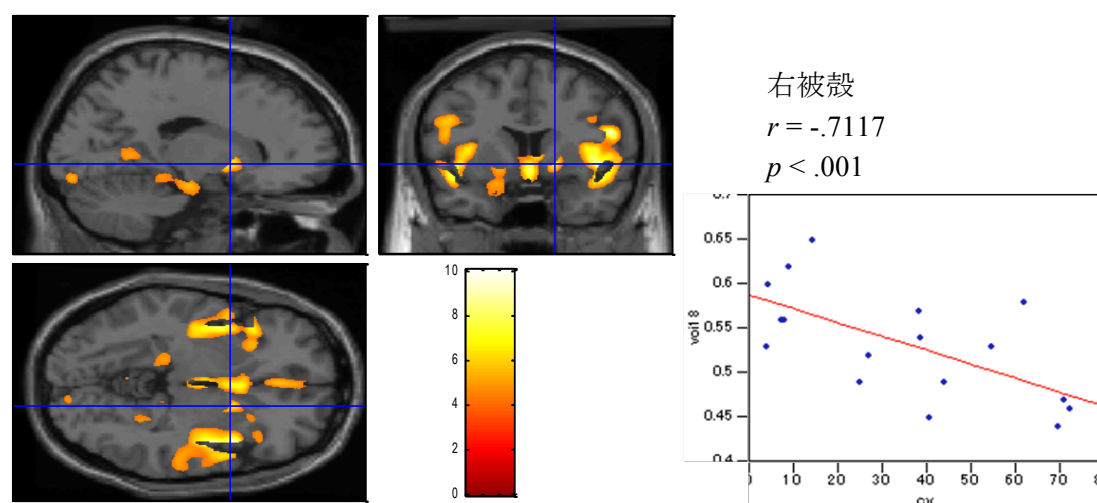


図4 追従走行課題の成績と灰白質体積との関連

表5 健常高齢者と比較し、MCI 者で有意に灰白質体積が減少している領域

領域	ブロードマン領野	Z スコア	MNI 座標
左島	13	4.15	(-40, -2, 4)
右島	13	3.88	(43, 9, -3)
左中心後回	40	3.4	(-61, -25, 15)

研究成果の公表実績

本研究の成果の一部は、第34回日本神経科学大会、The 10th Tsukuba International Conference on Memory にて公表された。また、行動指標の結果については、「The effects of mild cognitive impairment on driving performance in older drivers.」のタイトルで、*The Journal of American Geriatric Society* に掲載予定である (Kawano, N., Iwamoto, K., Ebe, K., et al., *in press*)。

謝 辞

本研究は、豊田中央研究所の江部和俊先生、内山祐司先生、名古屋大学大学院医学系研究科精神医学分野の笹田和見先生、幸村州洋先生、山本真江里先生の協力を得て実施されました。特に

記して感謝します。また、本研究に助成を頂きました名古屋市高齢者療養サービス事業団および千代田健康開発事業団に、この場を借りて、感謝申し上げます。

引用文献

- Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. "Mini-mental state": a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. J Psychiatr Res 1975; 12: 189-198.
- Hakamies-Blomqvist L, Sirén A, Davidse RJ. Older drivers-a review. VTI report 497A. Linköping: Swedish National Road and Transport Research Institute VTI, 2004.
- Iverson DJ, Gronseth GS, Reger MA et al. Practice parameter update: evaluation and management of driving risk in dementia. Report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology. Neurology 2010; 74: 1316-1324.
- Kawano N, Iwamoto K, Ebe K et al. Slower adaptation to the driving simulator and simulator sickness in older adults. Aging Clin Exp Res, in press.
- Lezak MD. Neuropsychological assessment (4th ed.). New York: Oxford University, 2004.
- Morris JC. The Clinical Dementia Rating (CDR): Current version and scoring rules. Neurology 1993; 43: 2412-2414.
- Spiers HJ, Maguire EA. Neural substrates of driving behavior. NeuroImage 2007; 26: 245-255.
- Uchiyama Y, Ebe K, Kozato A et al. The neural substrates of driving at a safe distance: a functional MRI study. Neurosci Lett 2003; 352: 199-202.
- Wechsler D. Manual for the Wechsler Memory Scale-Revised. San Antonio, TX: The Psychological Corporation, 1987.