

ВПЛИВ ДОДАТКОВОГО КОГНІТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ПАРАМЕТРИ ХОДЬБИ У ЖІНОК РІЗНИХ ВІКОВИХ ГРУП

Надійшла 30.07.14

Використовуючи автоматизовану систему GAITRite, досліджували просторові та часові параметри ходьби у дівчат-підлітків 12–15 років, дівчат 16–20 років та жінок 21–55 років. Вказані параметри аналізували в нормальних умовах та при виконанні додаткового когнітивного завдання – проговорювання вголос назв тварин, відомих тестованим. У всіх вікових групах в умовах когнітивного навантаження просторові параметри ходьби не зазнавали вірогідних змін, тоді як практично всі часові параметри статистично вірогідно змінювались. Тривалості фаз ходьби в таких умовах ставали більшими, а частота кроків та швидкість руху зменшувалися. Зроблено висновок, що при дії помірного когнітивного навантаження параметри діяльності нейронного локомоторного генератора (в наших тестах – генератора ходьби) піддаються досить простій модифікації, котру можна характеризувати як відносно рівномірне «розтягування» часової шкали при мінімальних змінах амплітудних параметрів. Такі модифікації в межах дослідженого загального вікового інтервалу не демонстрували значної залежності від віку.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: просторово-часові параметри ходьби, ходьба з одночасним когнітивним навантаженням, вікові групи жінок.

ВСТУП

Ходьба є фундаментальною формою моторної поведінки людини. Можливість забезпечення нормальної ходьби в оточуючому середовищі є необхідною умовою для виконання звичайних життєвих завдань, для підтримання повноцінних соціальних стосунків і, взагалі, для забезпечення адекватної якості життя. Як відомо, ходьба є доволі автоматизованим актом, безпосереднє керування яким здійснюється значною мірою на основі активності нейронного генератора циклічної моторної активності (в нашому конкретному випадку – локомоторного генератора ходьби). Такий генератор є структурно-функціональним об'єднанням нейронних мереж, розташованих на сегментарному (спінальному) рівні та керуючих складним просторово-часовим патерном послідовної активації різних м'язових груп, насамперед м'язів нижніх кінцівок. Функціонування подібного генератора

запускається та модулюється активністю певної низки надсегментарних структур – від стовбурових до кортикальних.

Очевидно, що на складний процес реалізації м'язової активності при ходьбі впливають численні фактори зовнішнього середовища й особливості функціонування церебральних структур у даний момент часу. Підтримання стабільності характеристик ходьби або відновлення таких характеристик у разі певних «збоїв» потребує залучення істотних ресурсів уваги [1]. Слід очікувати, що дія того або іншого когнітивного навантаження під час ходьби має призводити до певних модифікацій параметрів останньої. Дослідженню цього аспекту до теперішнього часу приділялася помітна увага, але значна частина відповідних питань поки що залишаються невирішеними.

Ми вимірювали просторові та часові параметри ходьби в осіб жіночої статі віком 12–55 років в умовах відсутності додаткових впливів на даний процес та при одночасній реалізації додаткового когнітивного завдання помірної складності. Структура загальної дослідженої групи дозволяла також визначити можливу вікову залежність модифікацій ходьби, що спостерігалися.

¹ Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова (Україна).

Ел. пошта: igotiss@gmail.com (І. В. Тищенко).

МЕТОДИКА

Визначення параметрів ходьби проводилося за допомогою автоматизованої системи GAITRite («CIR Systems Inc.», США). Тест-пристрій системи GAITRite є комп'ютеризованою доріжкою довжиною 4.2 і шириною 1.5 м, котра обладнана матрицею з 22 тисяч сенсорів тиску. При переміщенні суб'єкта по доріжці реєструються геометрія та розподіл тиску в межах кожного відбитку стопи тестованого, а спеціалізоване програмне забезпечення на основі цих даних дозволяє автоматично визначати широкий набір просторових та часових характеристик ходьби [2]. Вказаний комплекс є портативним, може розташовуватися на будь-якій опорній горизонтальній поверхні та не потребує розміщення на тестованому якихось додаткових приладів (датчиків тощо).

У дослідження були залучені на добровільній основі 127 осіб жіночої статі. Більшість із них склали студенти та викладачі Вінницького медичного коледжу. Обстежуваних було поділено на три вікові групи – дівчата-підлітки 12–15 років ($n = 36$, середній вік 15.1 ± 0.5 року), дівчата 16–20 років ($n = 54$, середній вік 17.4 ± 1.0 рік) та жінки 21–55 років ($n = 37$, середній вік 27.7 ± 7.3 року) [3]. Спеціального завдання визначення гендерних особливостей параметрів ходьби на даному етапі нашої роботи ми не ставили, тому групу чоловіків не обстежували. Тестовані на момент дослідження не мали якихось травм опорно-рухового апарату та заперечували наявність в анамнезі захворювань, що могли би вплинути на рухову активність у перебігу ходьби. При кожному проході визначали наступні параметри ходьби: довжину кроків, довжину подвійного кроку, співвідношення довжин кроку та кінцівки, кут розвертання стоп, ширину бази опори, пройдено відстань, швидкість переміщення, тривалість кроку, тривалість крокового циклу, темп ходьби, тривалість опори на одну та обидві стопи, час переносу стопи.

Нормографічні дані отримували в перебігу двох проходів доріжкою з довільно обраною швидкістю, комфортною для тестованої особи. Після цього обстежувані виконували також два тест-проходи з наявністю когнітивного навантаження. Відповідне завдання полягало в проговоренні вголос під час ходьби (по можливості не повторюючись) назв тварин, відомих обстежуваним.

Дані по кожному проході та парах нормографічних та тест-проходів послідовно усереднюва-

лись. Отримані результати обробляли статистично із застосуванням дисперсійного аналізу. Числові дані порівнювали, використовуючи критерій Ньюмана–Кеулса для незалежних виборок. Міжгрупові відмінності вважали вірогідними у випадках $P \leq 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТИ

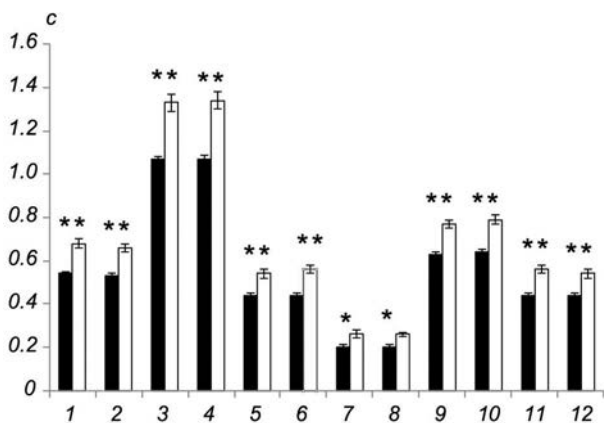
При порівнянні просторово-часових параметрів звичайної ходьби і ходьби з одночасним виконанням додаткового когнітивного завдання виявилось, що практично в усіх просторових показниках у всіх вікових підгрупах були відсутні вірогідні відмінності у вказаних вище двох умовах тестування. У дівчат першої групи (підлітків) середня довжина кроків була дещо (але не вірогідно) меншою, ніж відповідні параметри в двох інших групах. Очевидно, це було пов'язане з різницею антропометричних характеристик – середня довжина нижніх кінцівок у підлітків була дещо (теж не вірогідно) меншою. В той же час усі часові показники в «нормальних» та тест-умовах істотно відрізнялися.

У групі підлітків (дівчата 12–15 років) тривалість поодинокого кроку за наявності когнітивного навантаження ставала більшою на $20.4 (0.65 \pm 0.02)$ проти 0.54 ± 0.01 с), тривалість крокового циклу – також на $20.4 (1.30 \pm 0.04)$ проти 1.08 ± 0.02 с), тривалість поодинокій опори – на $22.7 (0.54 \pm 0.02)$ проти 0.44 ± 0.01 с), а тривалість переносу обох ніг – також на $22.7 (0.54 \pm 0.02)$ проти 0.44 ± 0.01 с) %. Темп ходьби (кількість кроків за 1 хв) зменшувався на 14.8 % (від 112.08 ± 1.81 до 95.54 ± 2.72 хв⁻¹); у всіх вказаних випадках $P < 0.01$. Тривалість проходження доріжкою при навантаженні була більшою на $22.4 (7.27 \pm 0.41)$ проти 5.94 ± 0.21 с), а час подвійної опори – на $25.0 (0.25 \pm 0.01)$ проти 0.20 ± 0.01 с) %. Швидкість руху при виконанні додаткового завдання зменшувалася на 13.0 % (від 118.65 ± 3.12 до 103.25 ± 4.50 см/с). У вказаних випадках різниці були вірогідними з $P < 0.05$.

У другій віковій групі (дівчата 16–20 років) часові параметри ходьби з одночасним виконанням когнітивного завдання також вірогідно відрізнялися від таких в умовах звичайної ходьби. Тривалість кроку ставала більшою в середньому на $25.9 (0.68 \pm 0.02)$ проти 0.54 ± 0.01 с), тривалість крокового циклу – на $25.2 (1.34 \pm 0.04)$ проти 1.07 ± 0.01 с),

тривалість поодинокі опори – на 27.3 (0.56 ± 0.02 проти 0.44 ± 0.01 с), а час переносу ніг – також на 27.3 (0.56 ± 0.02 проти 0.44 ± 0.01 с) %. Темп ходьби ставав меншим на 20.7 (з 112.91 ± 1.34 до 93.55 ± 2.28 хв⁻¹), а швидкість – на 19.1 (від 117.91 ± 2.28 до 98.97 ± 3.31 см/с) %. Для всіх зазначених параметрів *P* складала менше 0.01. Інші часові параметри ходьби в даній групі за наявності когнітивного навантаження також змінювалися вірогідно (*P* < 0.05). Тривалість проходу зростала на 25.0 (від 6.15 ± 0.17 до 7.69 ± 0.41 с), а час подвійної опори – на 30.0 (від 0.20 ± 0.01 до 0.26 ± 0.01 с) %. Патерн змін часових параметрів ходьби в групі дівчат, наведений на рисунку, та відповідні патерни в двох інших вікових групах були досить подібними.

У третій групі (жінки 21–55 років) у перебігу тестів із одночасним виконанням когнітивного завдання найістотніше (*P* < 0.01) зростали наступні часові показники. Тривалість кроку зростала на 21.8 (0.67 ± 0.03 порівняно з 0.55 ± 0.01 с), тривалість крокового циклу – також на 21.8 (1.34 ± 0.05 порівняно з 1.10 ± 0.02 с), тривалість поодинокі опори – на 22.7 (від 0.44 ± 0.01 до 0.54 ± 0.02 с), а тривалість переносу ніг – на 22.7 (від 0.44 ± 0.01 до 0.54 ± 0.02 с) %. Темп ходьби в таких умовах зменшувався на 14.2 % (від 109.88 ± 1.82 до 94.23 ± 3.10 хв⁻¹). Статистично значущі зміни (з *P* < 0.05) спостерігалися також у всіх інших часових показників – тривалість проходу збільшувалася в середньому на 13.7 (від 6.50 ± 0.20 до 7.39 ± 0.42 с),



Часові параметри звичайної ходьби та ходьби з одночасним виконанням когнітивного завдання (темні та білі стовпчики відповідно) у дівчат 16–20 років.

Вказані середні значення тривалості кроку лівою (1) і правою (2) ногою, крокового циклу для лівої (3) і правої (4) ноги, поодинокі опори лівою (5) і правою (6) ногою, подвійної опори для лівої (7) і правої (8) ноги, опори для лівої (9) і правої (10) ноги, фази переносу лівої (11) і правої (12) ноги. Різниця середніх вірогідні з **P* < 0.05 та ***P* < 0.01.

а швидкість, відповідно, зменшувалася на 10.8 (від 112.26 ± 2.80 до 101.31 ± 4.47 см/с) %. Тривалість фази подвійної опори зростала на 21.7 % (від 0.23 ± 0.01 до 0.28 ± 0.02 с).

ОБГОВОРЕННЯ

Таким чином, виконання когнітивного завдання помірно важкості одночасно з ходьбою призводило до помірного (звичайно на 19–25 %) зростання тривалості окремих фаз цього локомоторного акту (див. рисунок), зменшення темпу ходьби (приблизно на 14–21 %) та відповідного зниження швидкості пересування (на 11–19 %). Отже, наявність паралельного когнітивного навантаження фактично викликала досить просту модифікацію – певне «розтягування» часової шкали діяльності локомоторного генератора. Таке розтягування було відносно рівномірним (інкременти та декременти окремих параметрів у межах вікових груп тестованих розрізнялися, але в цілому не драматично). Міжгрупові різниці середніх значень цих параметрів не вказували на існування якоїсь чіткої вікової залежності зазначених величин у межах дослідженого вікового інтервалу (обстежувалися відносно молоді особи жіночої статі – від підліткового до середнього віку). В той же час просторові характеристики ходьби в умовах наявності когнітивного навантаження не зазнавали будь-яких істотних змін. Очевидно, те саме можна сказати і щодо фазових характеристик рухів при ходьбі. Наші результати в цілому узгоджуються з даними, отриманими іншими дослідницькими групами, зокрема щодо швидкості пересування в умовах стандартної та модульованої ходьби [4–10].

Ми вважаємо, що слід звернути особливу увагу на наступну обставину. Як свідчать наведені вище числові дані, при ходьбі з одночасним виконанням когнітивного завдання помітно зростала варіабельність вимірюваних часових параметрів локомоції. Значення похибок середнього для обчислених середніх значень темпу ходьби та її швидкості в усіх вікових групах збільшувались у півтора-два рази, що свідчило про істотне зростання інтра- та інтеріндивідуальної варіабельності цих величин. Вважають, що зниження швидкості ходьби під час виконання когнітивного завдання можна розглядати в певному сенсі як захисну реакцію [9, 10]. Згадувалося також, що уповільнення ходьби в таких умовах супроводжується збільшенням

варіабельності часових параметрів даного моторного акту, зокрема збільшенням варіабельності тривалості крокового циклу. Отже, в цій ситуації дещо зменшується стабільність ходьби. В той же час просторові параметри ходьби не зазнавали істотних змін. Наведений факт свідчить про те, що підтримання рівноваги в перебігу даного локомоторного акту в умовах дії використаного типу когнітивного навантаження не зустрічалось з кардинальними труднощами. Здається вірогідним, що утримувати рівновагу при ходьбі з одночасним виконанням когнітивного завдання допомагає триваліший загальний період опори в кроковому циклі такого пересування.

Наявність когнітивного навантаження помітно впливає на такий інтегральний показник, як індекс загальної якості («нормальності») ходьби [2]. В нашому випадку за відсутності згаданого навантаження цей індекс складав у середньому в дівчат-підлітків 97.06 ± 3.87 , у дівчат 16–20 років – 96.67 ± 3.97 , а у жінок 21–43 років – 96.84 ± 5.26 %. Під час же виконання когнітивного завдання відповідні середні значення вказаного індексу в цих трьох групах дорівнювали 91.75 ± 1.76 , 92.26 ± 1.12 та 89.49 ± 4.72 % відповідно. Іншими словами, зниження індексу загальної якості ходьби не були драматичними, але в той же час вони були досить помітними.

Таке зниження якості реалізації ходьби (інтегрального показника «нормальності») можна пояснити, базуючись на теорії розподілу ресурсів [8, 11, 12]. Згідно із вказаною теорією, якщо при одночасному виконанні двох поведінкових завдань потрібні ресурси з об'ємом, що перевищує загальний ресурс здатності, виконання одного із завдань (або навіть обох) буде погіршуватися незважаючи на специфічну природу таких завдань. Модифікована версія даної теорії стверджує наступне: якщо увага має розподілятися (розщеплюватися), то якість виконання двох завдань, потребуючих певних ресурсів уваги, може погіршуватись, навіть якщо загальна ємність ресурсу ще не перевищена. Феноменологія змін просторово-часової організації ходьби при одночасному виконанні когнітивного завдання узгоджується також із теорією «горлечка пляшки». Згідно з відповідною гіпотезою, при виконанні двох конкуруючих завдань використовується загальний нервовий ресурс. При цьому в перебігу інформаційної обробки створюється відносно вузьке «горлечко пляшки», що й призводить до зниження ефективності вико-

нання завдань і кількісних показників такого виконання [6].

Отже, напрямки перебудови просторово-часової організації циклу ходьби з одночасним виконанням додаткового когнітивного завдання в обстежених груп жінок були однаковими. Основним феноменом було статистично значуще зменшення швидкості ходьби та частоти кроків (тобто частоти роботи сегментарного генератора локомоції). Модифікації часових параметрів циклу ходьби свідчили про те, що даний руховий феномен не є автоматичним у повному розумінні цього терміну. Такі модифікації пов'язані з необхідністю розподілу ресурсів уваги в перебігу одночасного виконання двох завдань – моторного та когнітивного. В умовах наших тестів, очевидно, не відбувалось якихось кардинальних порушень контролю рівноваги, про що свідчила стабільність просторових параметрів ходьби в різних умовах.

Робота була проведена відповідно положень Хельсинкської Декларації (1975, пізніші редакції 1996–2013). Попередня письмова інформована згода була отримана від усіх суб'єктів (включно з батьками підлітків), які брали участь у тестах.

Автори роботи – В. М. Мороз, М. В. Йолтухівський, І. В. Тищенко, О. В. Богомаз, Г. С. Московко та С. О. Кривов'яз – підтверджують відсутність будь-яких конфліктів щодо комерційних або фінансових відносин, відносин з організаціями або особами, котрі будь-яким чином могли бути пов'язані з дослідженням, а також взаємовідносин співавторів статті.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. M. Woollacott and A. Shumway-Cook, "Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research," *Gait Posture*, **16**, No. 1, 1-14 (2002).
2. Г. С. Московко, "Дослідження функції ходи за допомогою GaitRite: описання та нормативні дані", *Biomed. Biosoc. Anthropol.*, № 8, 18-22 (2007).
3. Б. Н. Рыжов, "Системная периодизация развития", *Систем. психология и социология*, № 5 (1), 5-25 (2012).
4. М. В. Йолтухівський, О. В. Богомаз, "Вплив додаткового моторного і когнітивного завдань на ходьбу людини", *Нейронауки: Теор. і клін. аспекти*, № 1/2, 10-14 (2011).
5. O. Beauchet, V. Dubost, F. R. Herrmann, and R. W. Kressig, "Stride-to-stride variability while backward counting among healthy young adults," *J. NeuroEng. Rehab.*, **2**, 1-8 (2005).
6. V. Dubost, R. W. Kressig, R. Gonthier, et al., "Relationships between dual-task related changes in stride velocity and stride time variability in healthy older adults," *Human Mov. Sci.*, **25**, No. 3, 372-382 (2006).
7. G. Yogev, J. M. Hausdorff, and N. Giladi, "The role of

- executive function and attention in gait,” *Mov. Disord.*, **23**, No. 3, 329-472 (2008).
8. G. Yogev, N. Giladi, C. Peretz, et al., “Dual tasking, gait rhythmicity, and Parkinson’s disease: which aspects of gait are attention demanding?” *Eur. J. Neurosci.*, **22**, No. 5, 1248-1256 (2005).
 9. J. M. Hausdorff, A. Schweiger, T. Hermann, et al., “Dual-task decrements in gait: Contributing factors among healthy older adults,” *J. Gerontol. Ser. A. Biol. Sci. Med. Sci.*, **63**, No. 12, 1335-1343 (2008).
 10. Y. Lajoie, N. Teasdale, C. Bard, and M. Fleury, “Upright standing and gait: are there changes in attentional requirements related to normal aging,” *Exp. Aging Res.*, **22**, No. 2, 185-198 (1996).
 11. M. I. Posner, B. E. Sheese, Y. Odludas, and Y. Tang, “Analyzing and shaping human attentional networks,” *Neural Network*, **19**, No. 9, 1422-1429 (2006).
 12. M. C. Dault, L. Yardley, and J. S. Frank, “Does articulation contribute to modifications of postural control during dual-task paradigms?” *Cogn. Res. Cogn. Brain Res.*, **16**, No. 3, 434-440 (2003).